



Pro gradu -tutkielma
Maantiede
Geoinformatiikka

MULTIMODAALINEN SAAVUTETTAVUUS PÄÄKAUPUNKISEUDULLA –
SOVELLUSKOHTENA HELSINGIN ASUKASPYSÄKÖINTINORMIT

Julius Krötzl

2019

Ohjaajat:

Juha Hietanen
Tuuli Toivonen

HELSINGIN YLIOPISTO
MATEMAATTIS-LUONNONTIETEELLINEN TIEDEKUNTA
GEOTIETEIDEN JA MAANTIETEEN LAITOS
MAANTIEDE

PL 64 (Gustaf Hällströmin katu 2)
00014 Helsingin yliopisto



Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty		Laitos/Institution– Department	
Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta		Geotieteiden ja maantieteen laitos	
Tekijä/Författare – Author			
Krötzl Julius Martin			
Työn nimi / Arbetets titel – Title			
Multimodaalinen saavutettavuus pääkaupunkiseudulla – sovelluskohteena Helsingin asukaspysäköintinormit			
Oppiaine /Läroämne – Subject			
Geoinformatiikka			
Työn laji/Arbetets art – Level		Aika/Datum – Month and year	
Pro gradu -tutkielma		Toukokuu 2019	
		Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages	
		117 sivua + liitteet	
Tiivistelmä/Referat – Abstract			
<p>Viime vuosikymmeninä Helsingissä ja monessa muussa kaupungissa on pyritty tiivistämään kaupunkia ja tarjoamaan kohtuuhintaista asumista pienentämällä autoilun asukaspysäköintinormeja. Asukaspysäköintinormeja pienentäessä tulisi kuitenkin samalla arvioida alueen liikenteellistä ja maankäytöllistä sijaintia, jotta alueen tulevilla asukkailla olisi mahdollisuuksia siirtyä autottomaan tai vähäautoiseen elämäntapaan ja liikkua vaihtoehtoisilla liikkumismuodoilla. Viime vuosina on kehitetty entistä tarkempia liikenne-ennusteita tulevaisuuden matka-aikojen mallintamiseen. Yhdistämällä tulevaisuuden matka-aika- ja maankäyttöennusteet voidaan uusilla menetelmillä mallintaa entistä paremmin tulevaisuuden liikkumismahdollisuuksia. Tämä tutkielma pyrkii antamaan entistä parempaa tietoa tulevaisuuden saavutettavuudesta kestäväillä liikkumismuodoilla, ottaen huomioon erilaisten matkakohteiden erityispiirteet. Tutkielman tarkoituksena on siten tuottaa tietoa ennen kaikkea päätöksenteon tarpeisiin ja arvioida autonomistusta ja autopaikkatarvetta vuonna 2030. Tutkielma on tehty toimeksiantona Helsingin kaupungin liikenne- ja katusuunnittelupalvelulle.</p> <p>Tutkielman menetelminä on käytetty sijaintiperusteisia saavutettavuusmittareita, jotka on laskettu yhdistämällä matka-aikamatriisit ja maankäyttöaineistot Python-komentosarjojen avulla. Tässä tutkielmassa saavutettavuuden etäisyytenä on käytetty matka-aikaa. Saavutettavuusmittareiden kalibrointiin on käytetty HSL:n liikkumistutkimusaineistoa, josta on saatu Helsingin kotiperäisten matkojen todelliset matka-ajat luokiteltuna matkakohteittain. Matka-aika- ja maankäyttöaineistoina on käytetty Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikenne-ennustejärjestelmän (HELMET) matka-aika- ja maankäyttöennusteita vuosina 2017 ja 2030 sekä SeutuCD:n paikkatietoaineistoja. Tutkielmassa on lisäksi vertailtu autonomistukseen vaikuttavia tekijöitä pääkaupunkiseudulla ja luotu lineaarinen regressiomalli tulevaisuuden autopaikkatarpeen estimointiin saavutettavuusmallien ja väestötiheyden avulla.</p> <p>Tutkimustulosten mukaan potentiaaliset saavutettavuusmittarit ovat realistisempia päivittäisen liikkumisen mittareita kuin kumulatiiviset saavutettavuusmittarit, sillä ne painottavat maankäyttökohteita sen mukaan, miten kaukana kohteet ovat lähtöpisteestä. Eri kulkumuotoja vertailemalla voidaan todeta, että potentiaalinen saavutettavuus autolla on huomattavasti korkeampi kuin kestäväillä liikkumismuodoilla. Korrelaatioanalyysin perusteella merkittävin autonomistukseen vaikuttava indikaattori on kerrostalojen osuus alueen asuinkerrosalasta. Merkittävin autonomistukseen vaikuttava saavutettavuusmittari on joukkoliikenteen ja autoilun potentiaalisen saavutettavuuden suhde, joka selittää autonomistuksen spatiaalisesta jakaumasta lähes 60 prosenttia. Tulevaisuuden autopaikkatarpeen estimointiin luotujen ennustemallien selityssaste on parhaimmillaan noin 66 prosenttia. Täten ennustemallit soveltuvat hyvin tulevaisuuden autopaikkatarpeen ennustamiseen eri alueilla, mikäli autonomistuksen ja sitä mallintavien muuttujien välisten suhteiden oletetaan pysyvän samoina myös tulevaisuudessa.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords			
saavutettavuus, pääkaupunkiseutu, pysäköintinormit, paikkatietojärjestelmä, matka-aika			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposit			
HELDA			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			



Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty		Laitos/Institution– Department
Faculty of Science		Department of Geosciences and Geography
Tekijä/Författare – Author		
Krötzl Julius Martin		
Työn nimi / Arbetets titel – Title		
Multimodal accessibility in Helsinki region – residential parking standards as a case study		
Oppiaine /Läroämne – Subject		
Geoinformatics		
Työn laji/Arbetets art – Level	Aika/Datum – Month and year	Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages
Master's thesis	May 2019	117 pages + appendices
Tiivistelmä/Referat – Abstract		
<p>During the last decades, Helsinki and many other cities have begun to restrict parking supply in the city center and in transit-oriented developments, in order to minimize the negative impacts of parking and to restrain growth in housing prices. However, residential parking supply should only be reduced in areas that are well served by public transportation. In last years, novel data sources have been created to simulate the transportation network and land-use distribution in the future. By using computer-processing capacity to combine the travel time and land-use data sources, potential accessibility in the future can be modelled. The aim of this thesis is to provide information on future accessibility by sustainable travel modes, by taking into account the different distance friction characteristics of different land-use opportunities and to estimate car ownership in Helsinki in the year 2030. This thesis has been done as an assignment for the traffic and street planning unit of the City of Helsinki.</p> <p>Methods of this work include distance-based potential accessibility measures, which were computed by combining travel time matrices and land-use data using Python scripts and a geographic information system (GIS). In this work, travel time was used as the transport element of accessibility. For choosing the distance decay functions for the accessibility measures in this thesis, empirical travel data from the Helsinki region travel survey was used, which consists of travel times and trip purposes of the residents' daily journeys in the Helsinki region in 2012. Travel time and land use estimations for the years 2017 and 2030 from the Helsinki region traffic forecasting system (HELMET) as well as geographic information data from the SeutuCD registers were used as input data for the accessibility analyses. In addition, factors affecting car ownership in the Helsinki region were analyzed and linear regression models were created to estimate future parking demand in Helsinki using accessibility and population density variables.</p> <p>According to the results, potential accessibility measures model the mobility patterns more realistically than cumulative opportunity measures as they weight each feature according to the distance from the origin zone. By comparing potential accessibility results by different means of transport, it can be stated that sustainable transport accessibility in 2030 is, compared to the car still very low. According to the car ownership correlation analysis, the independent variable with the highest correlation coefficient is the percentage of gross floor area of blocks of flats of the entire gross floor area of residential buildings in the zone. The independent accessibility variable with the highest correlation coefficient is the percentage of potential job accessibility by public transport in relation to car, which has a strong negative effect on car ownership ($R \approx -0.8$). The highest R-squared value of the multiple linear regression models predicting car ownership is 0.66, meaning that 66 percent of the variation of car ownership can be explained by the independent variables. Thus, the predicting model can be used in estimating future car ownership, if the relationships between car ownership and the predictive variables are assumed to be constant over time.</p>		
Avainsanat – Nyckelord – Keywords		
GIS, accessibility, Helsinki region, parking standards, travel time		
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposit		
HELDA		
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information		

Käsitteet

ap / x k-m ²	Asemakaavassa ilmoitettu autopaikkamäärä x:ää kerrosneliometriä kohti.
Asukaspysäköinti	Asukkaiden ja vieraiden pysäköinti omalla asuinalueellaan tai sen lähiympäristössä.
Asumisväljyys	Huoneiston pinta-alan ja siinä asuvien henkilöiden lukumäärän välinen suhde.
Asuntokunta	Asuntokunnalla tarkoitetaan samassa asuinhuoneistossa vakinaisesti asuvia henkilöitä.
Autotiheys	Autotiheydellä tarkoitetaan autojen määrää tuhatta asukasta kohti.
Huoneistoala	Huoneistoa rajaavien seinien sisäpintojen rajoittama tila.
Kaksoisnormi	Pysäköintipaikkojen lukumäärä määritellään kerrosalan ja asuntojen lukumäärän mukaan, jolloin suhdeluvuista valitaan se, mikä tuottaa enemmän autopaikkoja.
Kerrosala	Rakennuksen kerrosalaan (k-m ²) lasketaan kaikkien kerrosten alat ulkoseinien ulkopinnan mukaan laskettuina ja se kellarikerroksen tai ullakon ala, johon sijoitetaan tai voidaan sijoittaa rakennuksen pääasiallisen käyttötarkoituksen mukaisia tiloja.
Kotiperäinen matka	Kotiperäisellä matkalla tarkoitetaan omasta kodista lähtevää tai sinne päättyvää matkaa.
LPA-tontti	Autopaikkojen korttelialueella sijaitseva tontti.
Maksiminormi	Pysäköintinormi, jonka perusteella velvoitepaikkoja saa kohteeseen enintään toteuttaa.
Miniminormi	Pysäköintinormi, jonka perusteella velvoitepaikkoja tulee kohteeseen vähintään toteuttaa.
Multimodaalisuus	Liikenteen multimodaalisuudella tarkoitetaan käyttäjän mahdollisuutta valita eri liikennemuotojen, kuten joukkoliikenteen, kävelyn, pyöräilyn tai autoilun väliltä.
Pysäköintinormi	Asemakaavassa ilmoitettu autopaikkojen määrä k-m ² tai ap/asunto.

Sisällysluettelo

1 JOHDANTO.....	1
2 TAUSTA	4
2.1 PYSÄKÖINTIPOLITIikka	4
2.1.1 Pysäköintipolitiikan kehitys Euroopassa	4
2.1.2 Esimerkkejä pysäköintinormeista.....	8
2.1.3 Pysäköinnin kustannukset	11
2.1.4 Helsingin pysäköintipolitiikka.....	12
2.1.5 Markkinaehtoinen pysäköinti	16
2.2 AUTONOMISTUS	19
2.2.1 Henkilöautojen määrä ja kulkutapaosuus.....	19
2.2.2 Henkilöautojen määrän ennustaminen.....	20
2.3 SAAVUTETTAVUUS.....	24
2.3.1 Saavutettavuuden määritelmä.....	24
2.3.2 Saavutettavuuden komponentit.....	26
2.3.3 Saavutettavuuden mittarit	28
2.3.4 Potentiaalisen saavutettavuuden mittarit.....	34
3 TUTKIMUSALUE.....	39
3.1 HELSINKI TUTKIMUSKOhteENA	39
3.2 HELSINGIN SEUDUN YHDYSKUNTARAKENNE	39
3.3 HELSINGIN SEUDUN LIIKENNEVERKKO	41
4 AINEISTO JA MENETELMÄT	43
4.1 TYÖN PÄÄVAIHEET	43
4.2 AINEISTO.....	46
4.2.1 Liikkumistutkimusaineisto	47
4.2.2 Maankäyttöaineisto	49
4.2.3 Matka-aikamatriisit	50
4.3 MENETELMÄT	52
4.3.1 Impedanssifunktioiden määrittäminen	52
4.3.2 Matkaryhmien maankäyttökohteiden määrittäminen.....	56
4.3.3 Kokonaissaavutettavuuden laskeminen.....	58
4.3.4 Yksinkertaistetun kokonaissaavutettavuusmittarin valinta	60
4.3.5 Autonomistukseen vaikuttavien tekijöiden laskeminen	62
4.3.6 Tulevaisuuden autopaikkatarpeen estimointi.....	65
5 TULOKSET	66
5.1 SAAVUTETTAVUUS KESTÄVILLÄ LIIKENNEMUODOILLA VUONNA 2030	66

5.2 PÄIVITTÄISEN LIIKKUMISEN MALLINTAMISEEN PARHAITEN SOVELTUVA SAAVUTETTAVUUSMITTARI	69
5.3 AUTONOMISTUKSEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT PÄÄKAUPUNKISEUDULLA	74
5.4 AUTOPAIKKATARPEEN ENNUSTEMALLI	77
5.4.1 Joukkoliikenteen ja autoilun saavutettavuuden suhteeseen perustuva ennuste	77
5.4.2 Joukkoliikenteen saavutettavuuteen perustuvat ennusteet	81
5.4.3 Kestävän liikenteen ja autoilun saavutettavuuden suhteeseen perustuva ennuste.....	85
5.4.4 Usean muuttujan lineaariset regressiomallit	88
6 KESKUSTELU	93
6.1 LÄHTÖAINEISTO	93
6.1.1 Pyöräverkon ja pyöräilyn matka-aikojen tarkkuus	93
6.1.2 Autoilun matka-aika-aineiston tarkkuus	94
6.1.3 Joukkoliikenteen matka-aikojen tarkkuus	94
6.1.4 Autonomistusaineiston luotettavuus	96
6.2 KÄYTETYT MENETELMÄT	97
6.2.1 Kokonaissaavutettavuusmallit olettavat, että matkaryhmien osuudet ja impedanssifunktiot pysyvät samoina myös tulevaisuudessa	97
6.2.2 Python-komentosarjojen avulla voidaan automatisoida laskentaprosesseja ja luoda entistä parempia saavutettavuusmittareita	97
6.2.3 Potentiaalisen saavutettavuuden impedanssi tulisi valita aina suhteessa tutkittavaan matkakohteeseen.....	98
6.2.4 Saavutettavuusmittareita käytettäessä tulee tiedostaa matka-aikojen suunta	98
6.2.5 Tässä tutkielmassa käytetyt saavutettavuusmittarit eivät ota liikenteen tarjonnan temporaalisia eroja huomioon.....	99
6.2.6 Lineaarisilla regressiomalleilla voidaan ennustaa tulevaisuuden autopaikkatarvetta, mikäli oletetaan autonomistusindikaattoreiden ja niitä mallintavien muuttujien välisten suhteiden pysyvän samoina myös tulevaisuudessa.....	99
6.3 TULOKSET JA NIIDEN MERKITYS.....	100
6.3.1 Potentiaaliset saavutettavuusmittarit ovat realistisempia kuin kumulatiiviset saavutettavuusmittarit	100
6.3.2 Julkisen liikenteen saavutettavuudella on selvä yhteys autonomistukseen, mutta eri saavutettavuusmallien antamat tulokset vaihtelevat keskenään	100
6.3.3 Tulotaso ei selitä autonomistusta yhtä paljon kuin aiemmissa tutkimuksissa	102
6.3.4 Ennustemallien mukaan joukkoliikenteen saavutettavuus suhteessa autoiluun paranee.....	102
6.3.5 Ennuste tulevaisuuden autonomistuksesta perustuu saavutettavuuden ja väestötiheyden alueellisiin muutoksiin, eikä ota muita autonomistuksessa tapahtuvia trendejä tai muita autonomistukseen vaikuttavia tekijöitä huomioon.....	103
6.3.6 Tulosten merkitys Helsingin kaupungin pysäköintiin ja pysäköintipolitiikkaan.....	104
6.4 JATKOEHDOTUKSET	105
6.4.1 Työpaikka-alueiden pysäköintitarpeen määrittely.....	105
6.4.2 Pyöräpysäköinnin tarpeen määrittely.....	106
6.4.3 Muiden liikkumismuotojen sisällyttäminen saavutettavuusanalyysiin	106

7 JOHTOPÄÄTÖKSET	107
8 KIITOKSET	108
9 LÄHTEET	108
10 LIITTEET	117

1 JOHDANTO

Helsingin kaupunkistrategiaan kirjattuna visiona on olla maailman toimivin kaupunki (Helsingin kaupunki 2017b). Pysäköintipolitiikka on tärkeä osa kaupungin kestävästä kasvun turvaamisesta. Helsinki on tätä kirjoitettaessa suurten mullistusten edessä, sillä kaupunki ja sitä ympäröivät kunnat kasvavat nopeaa vauhtia. MDI:n tuoreen ennusteen mukaan Helsingin seutukunta kasvaa vuosien 2017-2040 aikana lähes 300 000 asukkaalla, mikä tarkoittaa lähes 20 prosentin väestönkasvua (MDI 2019). Helsingin kaupunki huolehtii asuntotuotannosta kaavoittamalla uusille asukkaille 600 000 – 700 000 kerrosneliömetriä asuinkerrosalaa joka vuosi (Helsingin kaupunki 2017b). Näille asunnoille tulee kaupungin tämänhetkisten autopaikkannormien mukaan kaavoittaa noin 0,67 – 1,00 autopaikkaa jokaista sataa kerrosneliömetriä kohti alueesta riippuen (Helsingin kaupunki 2015a). Tämä tarkoittaa, että kaupungin tulee kaavoittaa vuosittain jopa 4000 - 7000 autopaikkaa.

Autopysäköinti aiheuttaa kaupungille ja sen asukkaille huomattavia negatiivisia ulkoisvaikutuksia. Pysäköinnin tilantarve on tiiviissä kaupungissa suuri ja pysäköinti aiheuttaa paljon taloudellisia kustannuksia ja ympäristöllisiä haittoja. Yhden autopaikan vaatima tila riippuu paljon pysäköinnin rakenteellisuudesta. Esimerkiksi kadunvarsipaikka vie tilaa noin 12 m², kun taas laitospysäköintipaikan vaatima tilantarve ajoyhteyksineen ja rampeineen on jopa 30 m². On arvioitu, että jokaista autoa kohti Helsingissä on noin kolme pysäköintipaikkaa. Täten Helsingin kaikkien pysäköintipaikkojen yhteenlaskettu tilantarve on jopa 16,5 km², mikä tarkoittaa noin 2500 jalkapallokentän yhteenlaskettua pinta-alaa (Helsingin kaupunki 2014). Maantasoiset pysäköintikentät pienentävät kaupunkirakenteen tiiviyyttä, mikä johtaa pidempiin päivittäisiin kävelymatkoihin ja kannustaa liikkumaan autolla. On tutkittu, että pysäköintipaikkojen lisääminen on suoraan yhteydessä autoilun kulkutapaosuuden ja liikennemäärien kasvuun (McCahill *et al.* 2016). Ilmiöstä puhutaan myös termillä *aiheutettu kysyntä* (engl. induced demand).

Pysäköintinormien pienentäminen tuo monia etuja. Pysäköintipaikkojen vähentäminen lisää tilaa ihmisten kohtaamiseen ja lasten leikkimiseen. Asemakaavoittajilla ja arkkitehteillä on enemmän liikkumavaraa uusien asuinalueiden suunnittelussa. Pienemmät pysäköintinormit johtavat vähentyneeseen autoliikenteeseen, minkä ansiosta muun muassa lapset ja vanhukset

voivat liikkua turvallisemmin liikenteessä. Autoliikenteen osuuden pienentäminen myös vähentää liikennemelua ja liikenteen päästöjä, mikä parantaa elämänlaatua ja johtaa kestävämpään energiankäyttöön sekä fossiilisten polttoaineiden vähentämiseen.

Autopaikkojen kustannukset uusien asuntojen ostajille ovat huomattavia. Pääkaupunkiseudulla autopaikan vaikutus asunnon myyntihintaan vaihtelee noin 400-700 euron välillä kerrosneliömetriä kohti. Tämä voi tarkoittaa jopa useita kymmeniä tuhansia euroja asuntoa kohti. Autopaikkojen kustannukset jaetaan yleensä kaikkien asunnon ostajien kesken, jolloin myös ne asukkaat, jotka eivät autoa tarvitse, joutuvat maksamaan osan muiden autopaikkojen hinnasta. Tämän jälkeen autopaikat usein vuokrataan nimellistä muutaman kymmenen euron kuukausivuokraa vastaan. Viime vuosina on ollut paljon keskustelua siitä, tulisiko pysäköintiä ajatella tavallisena kulutushyödykkeenä, josta vain sen käyttäjien tulisi maksaa (Helsingin kaupunki 2014; Soininvaara 2017; Tervio et al. 2019). Tämän tavoitteen ajamiseksi Helsingin kaupunki on ryhtynyt suunnittelemaan markkinaehtoista pysäköintiä, jonka perusajatuksen mukaan pysäköinnin saatavuus ja hinta vaihtelevat alueiden välillä riippuen pysäköinnin kustannuksista ja kysynnästä (Helsingin kaupunki 2019).

Pysäköinnin kysynnän ja tulevaisuuden pysäköintitarpeen ennustaminen on haastavaa. Monissa eurooppalaisissa kaupungeissa pysäköintinormeja on pienennetty keskusta-alueilla tai joukkoliikenteen korkean palvelutason alueilla. Pysäköintipolitiikka tulisi nähdä keinona elävöittää kaupunkeja, hallita ruuhkia ja toteuttaa ilmastotavoitteita. Lisäksi pysäköintipolitiikan tulisi ohjata ja kannustaa asukkaita kestävien kulkumuotojen valintaan (Helsingin kaupunki 2014). Pysäköinnin tarjontaa tulisi rajoittaa etenkin sellaisilla alueilla, joilla on käytössään hyvä julkisen liikenteen palvelutaso. Nykyisin Helsingissä yli puolet kotitalouksista on autottomia (Tilastokeskus 2013a). Joissakin kaupunginosissa, etenkin itäisessä kantakaupungissa, autottomien kotitalouksien osuus on jopa yli 70 prosenttia. Autottomien kotitalouksien osuus on myös kasvanut tasaisesti viime vuosina, etenkin esikaupungeissa (Helsingin kaupunki 2017a: 34). Monet Helsingin suosituimmista asuinalueista, kuten esimerkiksi Punavuori tai Töölö, on kaavoitettu aikana, jolloin autopaikkainormeja ei vielä ollut. Näin tiivistä kaupunkia ei kuitenkaan nykyisten autopaikkainormien mukaan voida enää rakentaa. Keskustassa tai hyvien joukkoliikenneyhteyksien alueilla monet asukkaat eivät välttämättä käytä autoaan päivittäin, vaan ainoastaan satunnaisesti esimerkiksi viikonloppumatkoihin tai mökkireissuille. Helsingissä asukkaiden autojen pitkäaikaissäilytys kadunvarressa on enenevässä määrin

ongelma talvikunnossapidolle, teiden ruuhkautumiselle ja pysäköintipaikkojen riittävyydelle. Tämän takia tulisi tarjota pysäköintipaikkoja myös kauempaa, jotka palvelisivat paremmin auton satunnaiskäyttöä. Myös yhteiskäyttöautot palvelevat tulevaisuudessa monen korkean joukkoliikenteen palvelutason alueella asuvan satunnaista autotarvetta. Pysäköintipaikkoja ei tulisi kuitenkaan vähentää esimerkiksi sellaisilta alueilta, joilla ei ole riittävän hyvää joukkoliikenteen palvelutaso. Esimerkiksi Järvenpäässä ja Vantaan Kivistössä monet asukkaat ovat olleet tyytymättömiä liian pieniin asukaspysäköintipaikkojen määriin (Salomaa 2017; Hakkarainen 2019). Pysäköintipolitiikan tulisikin turvata asukkaiden liikkumistarpeet myös siinä tapauksessa, mikäli käytössä ei ole autoa. Tämän takia on erittäin tärkeää ottaa pysäköintinormien asettamisessa huomioon ennusteet kohteiden saavutettavuudesta kestäväillä liikennemuodoilla (joukkoliikenne, pyöräily ja kävely) suhteessa autoiluun.

Tämän työn tarkoituksena on arvioida tulevaisuuden liikenneverkon ja maankäyttörakenteen yhteisvaikutusta asukaspysäköinnin näkökulmasta ja tarjota täten kaupungille taustatietoa siitä, millä alueilla asukaspysäköinnin miniminormia voitaisiin pienentää tai asettaa rakennuttajien päätettäväksi. Työ tehdään toimeksiantona Helsingin kaupungin kaupunkiympäristön toimialan liikennejärjestelmäyksikköön. Vuodesta 2015 Helsinki on soveltanut asuintonttien autopaikkojen laskentaohjetta, jonka mukaan kuhunkin rakennukseen vaadittu autopaikkamäärä riippuu aluejaon lisäksi linnuntie-etäisyydestä lähimmälle joukkoliikenteen runkoverkon, eli metron, junan tai pikaraitiotien asemalle (Helsingin kaupunki 2015a). Paikkoja vaaditaan siis vähemmän niillä alueilla, joilla joukkoliikenneyhteydet ovat paremmat. Julkisen liikenteen saavutettavuuden mallintamisessa tulisi kuitenkin arvioida koko liikennejärjestelmää, eikä ainoastaan runkoverkon asemia. Tulevaisuudessa laadukkaat joukkoliikennepalvelut sekä uudet liikkumisen palvelut vähentävät pysäköintipaikkatarvetta. Pysäköinnin kysyntään merkittävästi vaikuttava tekijä on päivittäisen liikkumisen saavutettavuus. Tutkimushypoteesina on, että niillä alueilla, joilta voidaan saavuttaa kestäväillä liikkumismuodoilla paljon päivittäisen liikkumisen kohteita, omistetaan vähemmän autoja, minkä johdosta asukaspysäköinnin tarve on pienempi.

Tutkimuksen menetelminä käytetään sijaintiperusteisia saavutettavuusmittareita, jotka lasketaan Python-funktioiden avulla käyttäen taustatietona Helsingin seudun liikenteen liikkumistutkimusaineistoa sekä matka-aika- ja maankäyttöennusteita vuosille 2017 ja 2030. Liikkumistutkimusaineiston avulla tutkimuksessa valitaan kullekin kotiperäiselle matkakohteelle parhaiten sopiva saavutettavuusmittari, jonka jälkeen mittarit summataan

yhteen pyrkien mallintamaan kotiperäisen liikkumisen mahdollisuuksia kestäväillä liikkumismuodoilla mahdollisimman hyvin. Tilastollisia menetelmiä, kuten korrelaatio- ja regressioanalyysyjä käytetään tutkielmassa autonomistukseen vaikuttavien tekijöiden havaitsemisessa ja tulevaisuuden autonomistuksen mallintamisessa.

Tämän työn tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

- 1) Millainen saavutettavuusmittari soveltuu parhaiten päivittäisten kotiperäisten matkojen mallintamiseen?**
- 2) Millainen on kestävä liikenteen saavutettavuus suhteessa autoiluun vuonna 2030?**
- 3) Mitkä tekijät vaikuttavat autonomistuksen alueellisiin eroihin Helsingissä?**
- 4) Millaisella mittarilla voidaan estimoida autopaikkatarvetta vuonna 2030?**

2 TAUSTA

2.1 Pysäköintipolitiikka

2.1.1 Pysäköintipolitiikan kehitys Euroopassa

Pysäköintipolitiikan kehitys Euroopassa voidaan jakaa karkeasti ottaen kolmeen eri vaiheeseen (Mingardo et al. 2015; Quantum Research 2016). 1900-luvun ensimmäisellä puoliskolla pysäköintipolitiikkaa ei vielä varsinaisesti ollut, eikä pysäköinti tuottanut ongelmia henkilöautojen vähäisten määrien vuoksi. 1960-luvulle tultaessa muutamissa eurooppalaisissa suurkaupungeissa alettiin säädellä pysäköinnin tarjontaa, josta alkanutta ajanjaksoa Mingardo ja kumppanit (2015) kutsuvat pysäköintipolitiikan ensimmäiseksi vaiheeksi. Lisäksi kaupunkien vilkkaimmilla ostoskaduilla otettiin käyttöön pysäköinnin aikarajoituksia asiakasmäärien maksimoimiseksi.

Pysäköintipolitiikan toinen vaihe alkoi pysäköintimaksujen käyttöönotolla. Talouskasvu ja kaupungistuminen johtivat monessa eurooppalaisessa kaupungissa autojen määrän nopeaan kasvuun, mikä johti pysäköintiongelmiin ja ruuhkautumiseen. Näiden ongelmien hallitsemiseksi monet kaupungit ottivat käyttöön maksullisen pysäköinnin kaupunkien ydinkeskustoissa. Pyrkimään välttämään ydinkeskustan pysäköinnin maksullisuutta, yhä useammat autoilijat pysäköivät ympäröiville alueille, mikä taas sai aikaan painetta laajentaa maksullisia pysäköintialueita koskemaan myös ydinkeskustojen ulkopuolisia alueita. Pysäköintimaksujen käyttöönotto johti myös siihen, että monissa kaupungeissa alettiin ottamaan käyttöön asukas-pysäköintitunnuksia maksullisella pysäköintialueella asuville asukkaille. Lisäksi monissa kaupungeissa viranomaiset ottivat käyttöön pysäköintinormeja koskemaan uusia rakennuskohteita. Keskustan maksullinen pysäköinti mahdollisti myös pysäköintimarkkinat yksityisille toimijoille, jotka alkoivat rakentaa pysäköintilaitoksia. Tilan puute ja yhä korkeampi maan arvo kaupunkien keskustoissa sai aikaan kehityskulun rakentaa ensin kadunvarsipaikkoja, sitten pysäköintialueita ja lopulta maanpäällisiä pysäköintitaloja ja maanalaisia pysäköintilouolia (Mingardo et al. 2015; Quantum Research 2016).

Pysäköintipolitiikan kolmas vaihe alkoi monissa eurooppalaisissa suurkaupungeissa 1900-luvun loppupuolella. Sen saivat aikaan tarve parantaa keskustojen elinvoimaisuutta ja viihtyisyyttä, entistä korkeammat ympäristövaatimukset sekä pysäköintilaitosten kasvavat rakentamis- ja ylläpitokustannukset ja pysäköintilaitosten korkeat vaihtoehtoiskustannukset. Monissa kaupungeissa otettiin käyttöön pysäköintistrategioita taloudellisten, ympäristöllisten ja sosiaalisten tavoitteiden ajamiseksi ja tilankäytön tasa-arvoisemmaksi jakamiseksi eri toimijoiden kesken. Yleisimpiä kolmannen vaiheen pysäköintistrategioihin kuuluvia toimia on pysäköintipaikkojen vähentäminen, liityntäpysäköinnin rakentaminen, joustavan hinnoittelujärjestelmän käyttöönotto sekä pysäköinnin vuorottaiskäyttö (Mingardo et al. 2015).

Pysäköintipaikkojen vähentäminen lukeutuu pysäköintipolitiikan kolmannen vaiheen merkittävimpiin toimenpiteisiin. Monissa eurooppalaisissa suurissa ja keskisuurissa kaupungeissa on vähennetty erityisesti kadunvarsipysäköinnin tarjontaa keskusta-alueilla. Lontoossa pysäköintipaikkojen vähentäminen aloitettiin jo vuonna 1976 Suur-Lontoon kehittämissuunnitelmalla (Friedrichs 1985). Kadunvarsipysäköinnin poistamisen yhteydessä on usein samalla lisätty kestävien liikkumismuotojen tarvitsemaa tilaa, esimerkiksi jalkakäytäviä leventämällä, pyöräpysäköintiä rakentamalla tai lisäämällä pyörä- tai bussikaistoja kadunvarsipysäköinnin tilalle. Pysäköintipaikkojen vähentäminen yhdistettynä

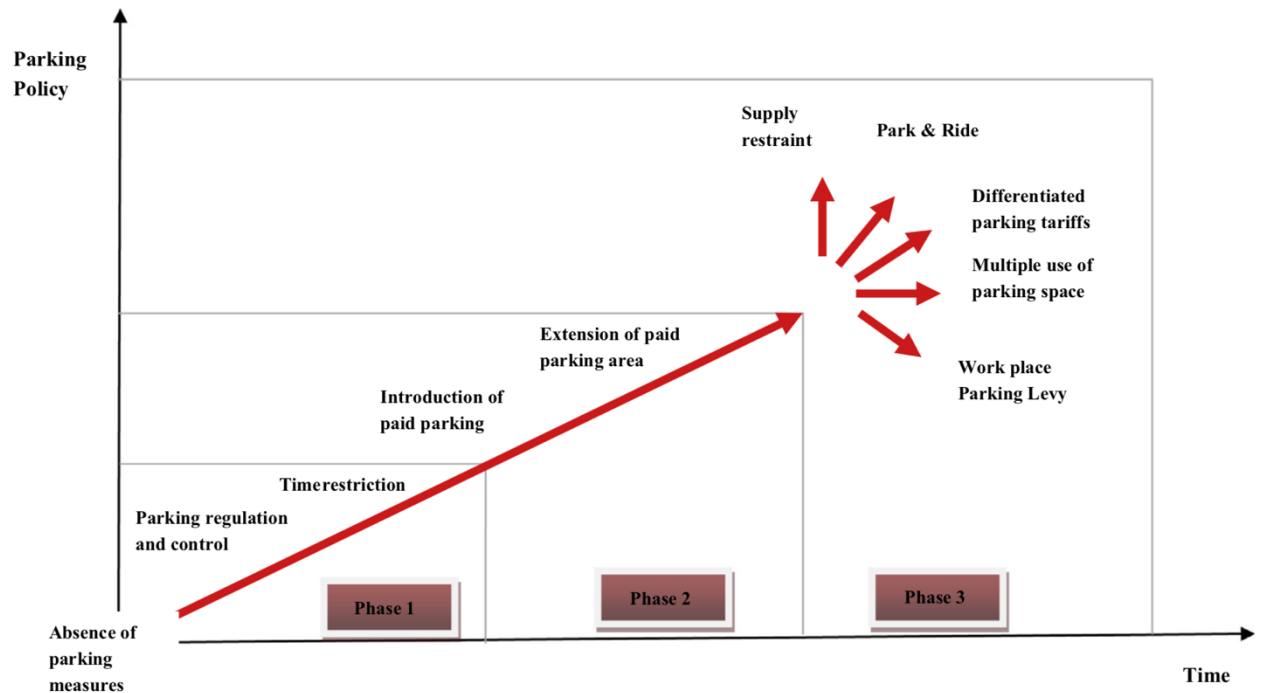
autoilun rajoittamiseen esimerkiksi tietullien tai keskustan ajokieltojen muodossa on saanut monissa eurooppalaisissa kaupungeissa, kuten Tukholmassa, Lontoossa ja Roomassa aikaan tehokkaita synergiavaikutuksia, jotka ovat lisänneet keskusta-alueiden viihtyisyyttä ja houkuttelevuutta ja nostaneet sitä kautta keskustan pienten kauppohen kävijämääriä (Quantum Research 2016). Monissa kaupungeissa on myös vähennetty pysäköintipaikkoja pienentämällä pysäköintivaatimuksia uusissa rakennushankkeissa tai poistamalla pysäköintivaatimukset hyvän julkisen liikenteen saavutettavuuden alueella kokonaan ja asetettu miniminormien sijaan pysäköinnin maksiminormit. Esimerkiksi Pariisissa on poistettu pysäköinnin miniminormit alueilta, joilta on alle 500 metrin etäisyys metroasemalle ja asetettu sen sijaan maksiminormi, joka on 1 autopaikka/ 100 k-m² (Kodransky & Hermann 2011).

Toinen kolmannen vaiheen pysäköintistrategiaan kuuluva merkittävä toimenpide on liityntäpysäköinnin tarjoaminen (Mingardo et al. 2015). Monet kaupungit pyrkivät vähentämään keskustaan suuntautuvaa autoliikennettä ja nostamaan joukkoliikenteen osuutta työmatkoilla tarjoamalla liityntäpysäköintiä tärkeillä joukkoliikenteen asemilla. Liityntäpysäköinnistä saatava hyöty on kuitenkin poliittisesti kiistanalaista, sillä liityntäpysäköinnin rakennus- ja käyttökustannukset ovat yleensä korkeita, minkä lisäksi liityntäpysäköintilaitokset vievät arvokasta tonttimaata asuin- ja liiketiloilta hyvien julkisen liikenteen yhteyksien ääreltä. Lisäksi liityntäpysäköinti lisää kaupunkirakenteen hajautumista, sillä se tarjoaa houkuttelevan vaihtoehdon niille, jotka asuvat joukkoliikenteen ulottumattomissa (Quantum Research 2016). Liityntäpysäköinti vähentääkin keskustaan suuntautuvaa autoliikennettä ainoastaan siinä tapauksessa, mikäli vastaava määrä pysäköintipaikkoja vähennetään samalla keskustasta (Soininvaara 2013).

Monissa kaupungeissa ympäri maailmaa on kehitetty viime vuosikymmeninä innovatiivisia pysäköinnin hinnoittelumalleja. Uudet hinnoittelumallit voidaan Mingardon ja kumppaneiden (2015) mukaan jaotella kolmeen eri tyyppiin sen mukaan, perustuuko hinnoittelu a) pysäköinnin kysyntään, b) ajoneuvon päästöihin vai c) reaaliaikaisuuteen. Muutamissa kaupungeissa on kokeiltu uusia dynaamisia hinnoittelumalleja, jotka muuttuvat pysäköinnin kysynnän mukaan eri vuorokaudenaikoina. Dynaamisten hinnoittelumallien tarkoituksena on vähentää pysäköintipaikkojen etsimisestä aiheutuvaa liikennettä kytkemällä hinnoittelu pysäköintipaikkojen käyttöasteeseen. Monissa tutkimuksissa optimaaliseksi käyttöasteeksi on arvioitu noin 85 prosenttia (Shoup 1999; Millard-Ball et al. 2014; Vanhapelto 2017). Tällöin keskimäärin yksi seitsemästä paikasta on vapaana, jolloin autoilijoiden ei enää tarvitsisi etsiä

pitkään vapaata paikkaa tai pysäköidä kauaksi määränpäästään. San Francisco otti vuonna 2011 ensimmäisenä käyttöön laajamittaisen dynaamisen hinnoittelun. Kaupungissa asennettiin seitsemälle alueelle sensoreita, jotka mittaavat kadunvarsipysäköintipaikkojen käyttöastetta ja muuttavat alueen pysäköinnin hintaa kysynnän mukaan. Uudistuksen seurauksena vapaata parkkipaikkaa etsivien autoilijoiden osuus laski ja alueiden kysyntä tasautui, kun osa autoilijoista siirtyi pois kaikkein ruuhkaisimmilta ja kalleimmilta kadunpätkiltä muille alueille (Pierce & Shoup 2013). Pysäköinnin hinta voi myös vaihdella ajoneuvon päästökategorian mukaan, niin kuin on tehty viime vuosina monissa kaupungeissa, kuten Lontoossa ja Madridissa (City of London 2018; Ciudad de Madrid 2018). Viime vuosina myös mobiilisovellusten kautta tapahtuva pysäköinti on yleistynyt monissa kaupungeissa. Kännykkäpysäköinnin ansiosta käyttäjän ei tarvitse tietää pysäköinnin kestoa aloittaessaan pysäköinnin, vaan sovellus laskee pysäköintiin kuluvan ajan automaattisesti minuutin tarkkuudella (Mingardo et al. 2015)

Pysäköintipolitiikan ensimmäisessä ja toisessa vaiheessa pysäköintipolitiikka pyrki vastaamaan syntyneisiin ongelmiin jälkikäteen reagoimalla. Pysäköintipolitiikka nähtiin omana osa-alueenaan, joka on irrallaan muusta suunnittelusta. Pysäköinnistä ei ollut käytettävissä paljoakaan dataa ja pysäköintimääräykset olivat kankeita ja perustuivat kansallisiin suuntaviivoihin. Pysäköintipolitiikan kolmannessa vaiheessa sen sijaan pysäköinti on alettu nähdä olennaisena osana kaupunki- ja liikennesuunnittelua. Pysäköintipolitiikka pyrkii ennaltaehkäisemään pysäköinnistä aiheutuvia haittoja, perustuen laajaan ja monipuoliseen dataan koskien muun muassa pysäköintiä ja saavutettavuutta muilla liikennemuodoilla. Pysäköintimääräykset ovat joustavia ja ne asetetaan vastaamaan paikallisia erityispiirteitä (Mingardo et al. 2015; Quantum Research 2016). Kuvassa 1 on esitetty pysäköintipolitiikan kolme vaihetta Mingardon ja kumppaneiden (2015) mukaan.



Kuva 1. Pysäköintipolitiikan vaiheet eurooppalaisissa kaupungeissa (Mingardo et al. 2015: 272).

2.1.2 Esimerkkejä pysäköintinormeista

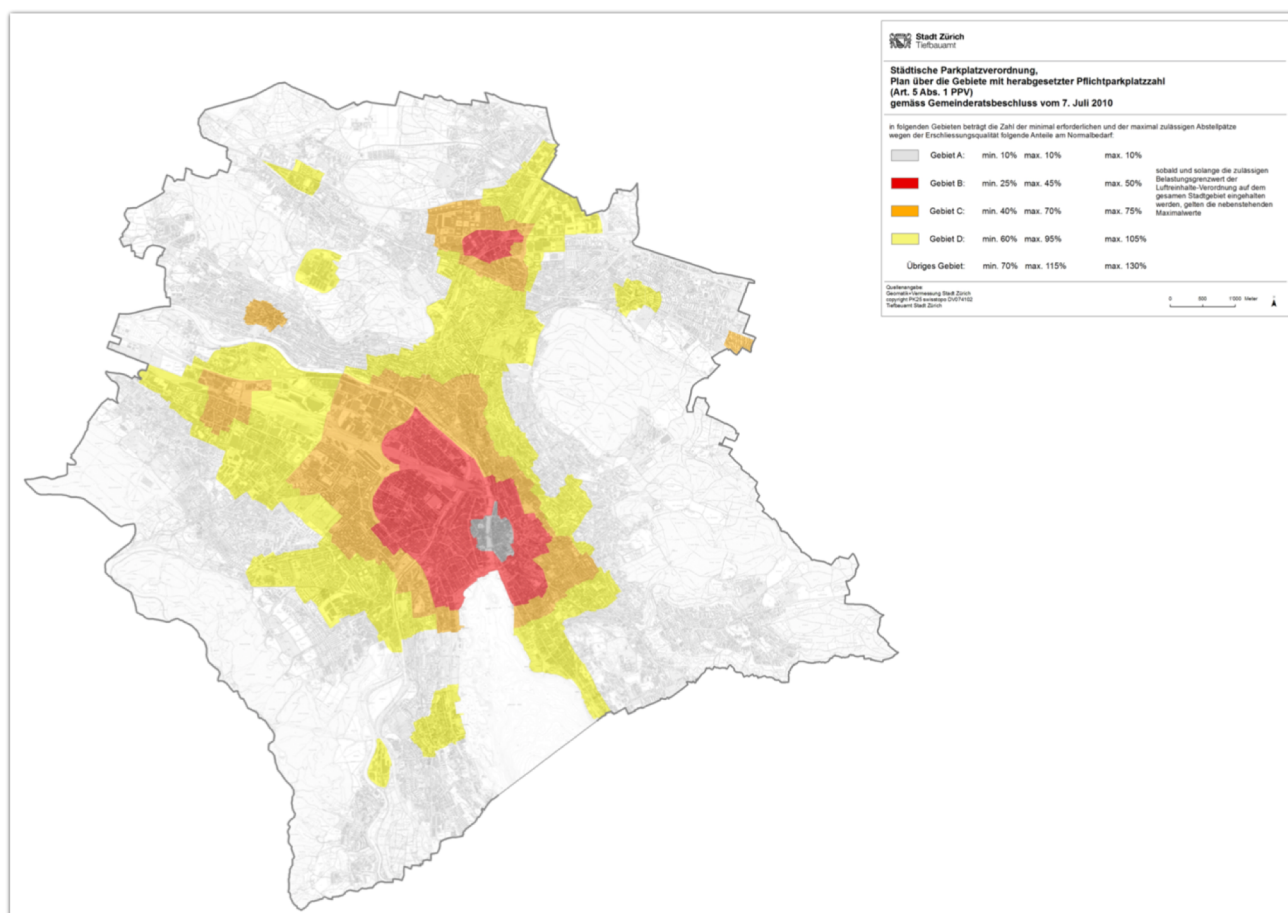
Useissa eurooppalaisissa kaupungeissa on pienennetty viime vuosikymmeninä pysäköinnin miniminormeja tai muutettu kokonaan pysäköinnin miniminormit maksiminormeiksi (Kodransky & Hermann 2011). Tunnetuin esimerkki lienee Alankomaiden vuonna 1989 käyttöönottama ABC-pysäköintipolitiikka. ABC-politiikassa yritysten ja palvelujen pysäköintipaikkojen määrän määrittelee julkisen liikenteen ja autoilun saavutettavuus. A-alueet ovat erittäin hyvin saavutettavissa julkisella liikenteellä, B-alueet ovat kohtalaisesti saavutettavissa julkisella liikenteellä ja autolla, kun taas C-alueet ovat tyypillisiä autovaltaisista alueista, joissa julkisen liikenteen saavutettavuus on heikkoa. Loput alueet, joissa sekä autoilun että joukkoliikenteen saavutettavuus on heikkoa, kuuluvat R (Rest) -alueisiin. A-alueilla saa rakentaa korkeintaan yhden autopaikan kymmentä työntekijää kohti, B-alueilla yhden autopaikan viittä työntekijää kohti, kun taas C-alueilla pysäköintipaikkojen määrää ei rajoiteta (Martens & Griethuysen 2007).

Myös Zürichissä pysäköintivaatimukset perustuvat julkisen liikenteen saavutettavuuteen (Stadt Zürich 2015). Julkisen liikenteen saavutettavuusluokka muodostetaan yhdistämällä

joukkoliikennepysäkin vuoroväli ja pysäkkityyppi (raskaan raideliikenteen solmukohta, lähijunapysäkki, raitiovaunu, bussi) sekä kävelyetäisyys pysäkille (Kanton Zürich 1997). Vuodesta 1989 lähtien Zürichissä on ollut voimassa pysäköinnin minimimääräyksien lisäksi myös pysäköintipaikkojen maksimimääräykset (Garrick & McCahill 2012). Vuonna 1996 Zürichin kaupunginvaltuusto hyväksyi uuden pysäköintipolitiikan, jonka nimeksi tuli ”Der Historische Kompromiss” (historiallinen sovitteluratkaisu). Päätöksen tarkoituksena oli parantaa keskustan houkuttelevuutta jalankulkuliikenteelle asettamalla yläraja yleisille pysäköintipaikoille keskustassa. Ylärajaksi asetettiin pysäköintipaikkojen määrä vuonna 1990. Lisäksi päätöksessä määrättiin, että jokaista maanalaista uutta pysäköintipaikkaa kohti tulee poistaa yksi maanpäällinen pysäköintipaikka. Toisin sanoen, yhtään uutta pysäköintipaikkaa ei voida rakentaa keskustassa, mikäli ei voida poistaa samalla yhtä monta maanpäällistä pysäköintipaikkaa (Fellmann et al. 2009). Zürichin pysäköintipolitiikan seurauksena noin 1000 pysäköintipaikkaa on siirtynyt maan päältä maan alle, mahdollistaen lisää tilaa jalankulkijoille, pyöräilylle ja julkiselle liikenteelle (Zemp 2018). Vuodesta 2010 lähtien pysäköintipolitiikkaa on tiukennettu Zürichissä entisestään ja nykyisin Zürichin asuintonteille rakennettavia pysäköintipaikkoja koskevat taulukon 1 mukaiset minimi- ja maksimimääräykset. Kuvassa 2 on esitetty Zürichin pysäköintinormialueet (Stadt Zürich 2015). Kartassa näkyy, kuinka pysäköintipaikkoja vaaditaan vähiten vanhassa kaupungissa Zürichin ydinkeskustassa (harmaa alue) ja keskusta-alueilla vanhan kaupungin ympärillä (punainen alue). Kartassa näkyy punaisella myös Oerlikon Zürichin keskustan pohjoispuolella, joka on merkittävä paikalliskeskus ja erittäin vilkas joukkoliikenteen solmukohta.

Taulukko 1. Zürichin vähintään ja enintään vaadittavat pysäköintipaikat asuintonteilla (Stadt Zürich 2015).

Alue	Miniminormi (k-m²/autopaikka)	Maksiminormi (k-m²/autopaikka)
A Vanhakaupunki	1200	1200
B Keskusta	480	270
C Keskustan läheiset alueet	300	170
D Ympäröivä vyöhyke	200	125
Muut alueet	170	105

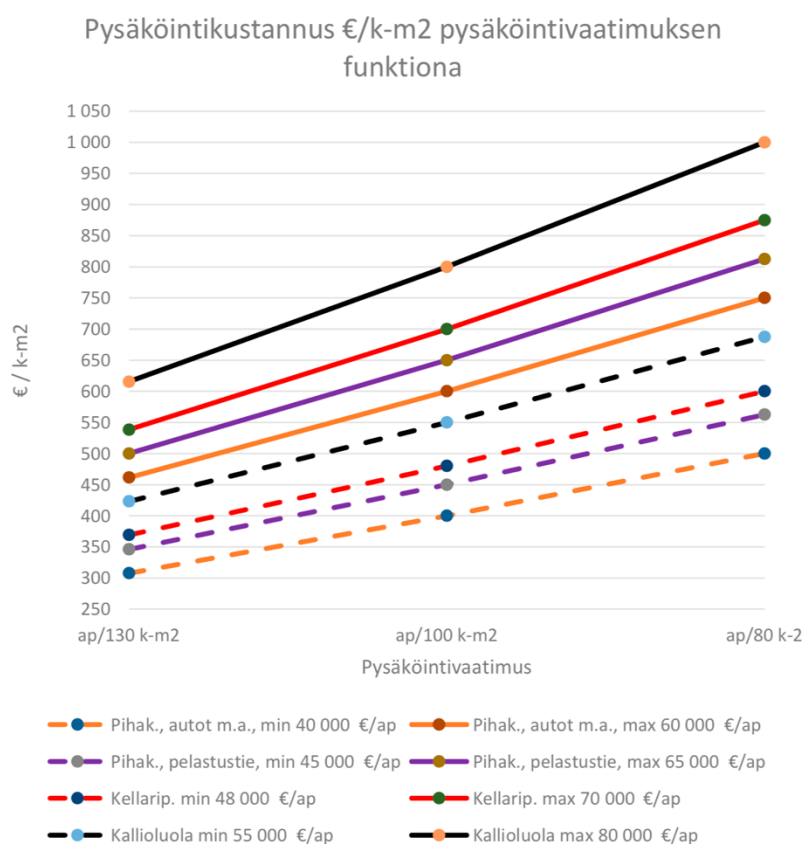


Kuva 2. Zürichin pysäköintinormikartta (Stadt Zürich 2015). Zürichin keskustan pohjoispuolella punaisella näkyvä alue on Oerlikon, joka on merkittävä julkisen liikenteen solmukohta.

Sveitsissä Basel-Stadtin kantonissa on jo vuodesta 1992 käytetty autopaikkannormia, jonka mukaan jokaiselle asuintontille *voidaan* rakentaa autopaikka, mutta autopaikan rakentaminen ei ole pakollista (Kanton Basel-Stadt 1992). Normi tarkoittaa samalla, että autopaikkojen vähimmäismäärää ei ole määritetty. Koska autopaikkojen rakentaminen on yleensä rakennuttajille vähemmän kannattavaa kuin asuntojen, rakennuttajat pyrkivät luonnostaan tekemään mahdollisimman vähän autopaikkoja. Basel-Stadtin kantonin maa- ja rakennuslaissa ohjeistetaan, että asuintonteille rakennettavien autopaikkojen lukumäärässä tulee huomioida asuinkerrosala, asuntojen lukumäärä sekä liikenteellinen ja erityisesti joukkoliikenteen saavutettavuus (Kanton Basel-Stadt 2011). Baselissa on myös rakennettu 300 asunnon vähäautoinen kaupunginosa Erlenmatt Ost, jonne rakennetaan yhteensä vain 30 pysäköintipaikkaa (Stiftung Habitat 2018). Myös monissa muissa kaupungeissa ympäri Eurooppaa, kuten Malmössä, Hampurissa, Kölnissä, Bremenissä, Münsterissä, Luxembourgiissa, Amsterdamissa, Freiburgissa ja Wienissä on kokeiltu vähäautoisia tai kokonaan autottomia asuinalueita (VCS 2018).

2.1.3 Pysäköinnin kustannukset

RAKLI:n laatiman Kaavamääräysten kustannusvaikutukset -selvityksen mukaan pysäköintinormit ovat kustannusvaikutuksiltaan merkittävimmät rakentamista koskevat määräykset (RAKLI 2015). Selvityksessä arvioidaan, että kaavamääräykset voivat nostaa hankkeen rakentamiskustannuksia jopa viidenneksellä, mikä heijastuu suoraan korkeampina asuntojen hintoina. Selvityksen mukaan pysäköinnin hinta vaihtelee huomattavasti rakenteellisuuden mukaan. Maantasopaikoituksen kustannus autopaikkaa kohti vaihtelee tyypillisesti noin 3000 ja 7000 euron välillä, kun taas yhden kallioluolapysäköintipaikan kustannuksen vaihteluväli on jopa 55 000 – 80 000 euroa. Pysäköintinormin väljyys vaikuttaa suoraan pysäköintipaikkojen rakentamiskustannuksiin ja sitä kautta korkeampiin asuntojen neliöhintoihin, kuten kuvasta 3 havaitaan. Esimerkiksi jos tehollinen autopaikkavaatimus on yksi autopaikka 130 kerrosneliömetriä kohti, kallioluolaratkaisulla kustannuksen vaihteluväli on 425-615 €/k-m², kun taas väljemmällä autopaikkavaatimuksella (1 ap / 80 k-m²) autopaikkakustannuksen vaikutus neliöhintoihin on jopa 690-1000 €/k-m² (RAKLI 2015).

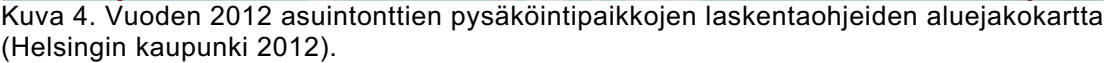


Kuva 3. Pysäköinnin toteutustapojen kustannukset pysäköintivaatimuksen funktiona (RAKLI 2015).

2.1.4 Helsingin pysäköintipolitiikka

Helsingin pysäköintipolitiikan kehitys noudattelee pääpiirteissään samaa kaavaa kuin kuvassa 1 havainnollistettu pysäköintipolitiikan kehitys eurooppalaisissa kaupungeissa. Ennen 1960-lukua autopaikkamääräyksiä ei vielä ollut. Autoja ei tällöin vielä ollut kovin paljon ja ne pysäköitiin pääsääntöisesti tonttien pihoiden ja katujen varsille (Helsingin kaupunki, 2015b). Vuonna 1963 rakennushallitus suositteli miniminormia 1 autopaikka per asunto. 1970-luvulla autopaikkamääräykset vakiintuivat asemakaavamääräyksissä ja vuonna 1973 laadittiin Helsingin kaupungin ensimmäinen autopaikkojen laskentaohje. Laskentaohjeita on sittemmin tarkistettu ja päivitetty noin 10 vuoden välein vastaamaan autopaikkojen tarvetta. Helsingin asuintonttien pysäköintipolitiikkaa on perinteisesti ohjannut periaate, että asukkaille kaavoitetaan riittävästi pysäköintipaikkoja, eikä autonomistusta pyritä rajoittamaan pienentämällä asukkaiden pysäköintipaikkamäärien tarjontaa (Palomäki 2011). Vuoteen 1994 asti ohjeita on pääsääntöisesti tiukennettu, eli vaadittu enemmän autopaikkoja kuin aiemmin. Vuodesta 2007 lähtien suunta on muuttunut, ja laskentaohjeissa on vaadittu vähemmän paikkoja erityisesti kerrostaloalueilla. Tämä kuvastaa Mingardon ja kumppaneiden (2015) mallissa (kuva 1) kolmannen vaiheen alkamista. Vuodesta 2012 lähtien Helsingin asuintonttien pysäköintipaikkojen laskentaohjeissa on huomioitu myös joukkoliikenteen tarjonta. Vaadittavien pysäköintipaikkojen määrä on vuoden 2012 laskentaohjeissa pienempi, mikäli linnuntie-etäisyys lähimmälle raideliikenteen tai runkobussiliikenteen pysäkillä alittaa tietyn raja-arvon (Helsingin kaupunki 2012). Lisäksi laskentaohjeissa on voitu pienentää pysäköintipaikkamäärää, mikäli kaavassa osoitetaan tontille yhteiskäyttöautojen pysäköintipaikkoja. Taulukossa 2 ja kuvassa 4 on havainnollistettu kerrostalojen pysäköintipaikkojen laskentaohjeet ja aluejako vuoden 2012 pysäköintinormien mukaan. Vuoden 2012 pysäköintinormien laskentaohjeissa on käytetty niin sanottua kaksoisnormia, jolloin autopaikkojen määrä määritellään kerrosalan lisäksi asuntokohtaisesti. Näiden väliltä tulee laskentaohjeiden mukaan valita se, jonka tuloksena saatu autopaikkamäärä on suurempi.

Alue	Miniminormi
Kantakaupungin eteläosa (alue I)	Jos etäisyys lähimmälle metro- tai juna-asemalle on alle 400 metriä: 1 ap / 145 k-m ² tai 0,4 ap/asunto. Muut alueet: 1 ap / 135 k-m ² tai 0,5 ap/asunto.
Kantakaupungin pohjoisosa (alue II)	Jos etäisyys lähimmälle metro- tai juna-asemalle on alle 500 metriä: 1 ap / 135 k-m ² tai 0,5 ap/asunto. Muut alueet: 1 ap / 125 k-m ² tai 0,5 ap/asunto.
Kantakaupungin uudet merenrantaiset alueet (alue III)	Jos etäisyys lähimmälle metro- tai juna-asemalle on alle 500 metriä: 1 ap / 135 k-m ² tai 0,5 ap/asunto. Muut alueet: 1 ap / 125 k-m ² tai 0,6 ap/asunto.
Esikaupunkialueet (alue IV)	Jos etäisyys lähimmälle raideliikenteen pysäkillä on alle 600 metriä: 1 ap / 120 k-m ² tai 0,6 ap/asunto. Jos etäisyys lähimmälle runkobussiliikenteen pysäkillä on alle 600 metriä: 1 ap / 110 k-m ² tai 0,65 ap/asunto. Muut alueet: 1 ap / 100 k-m ² tai 0,7 ap/asunto.

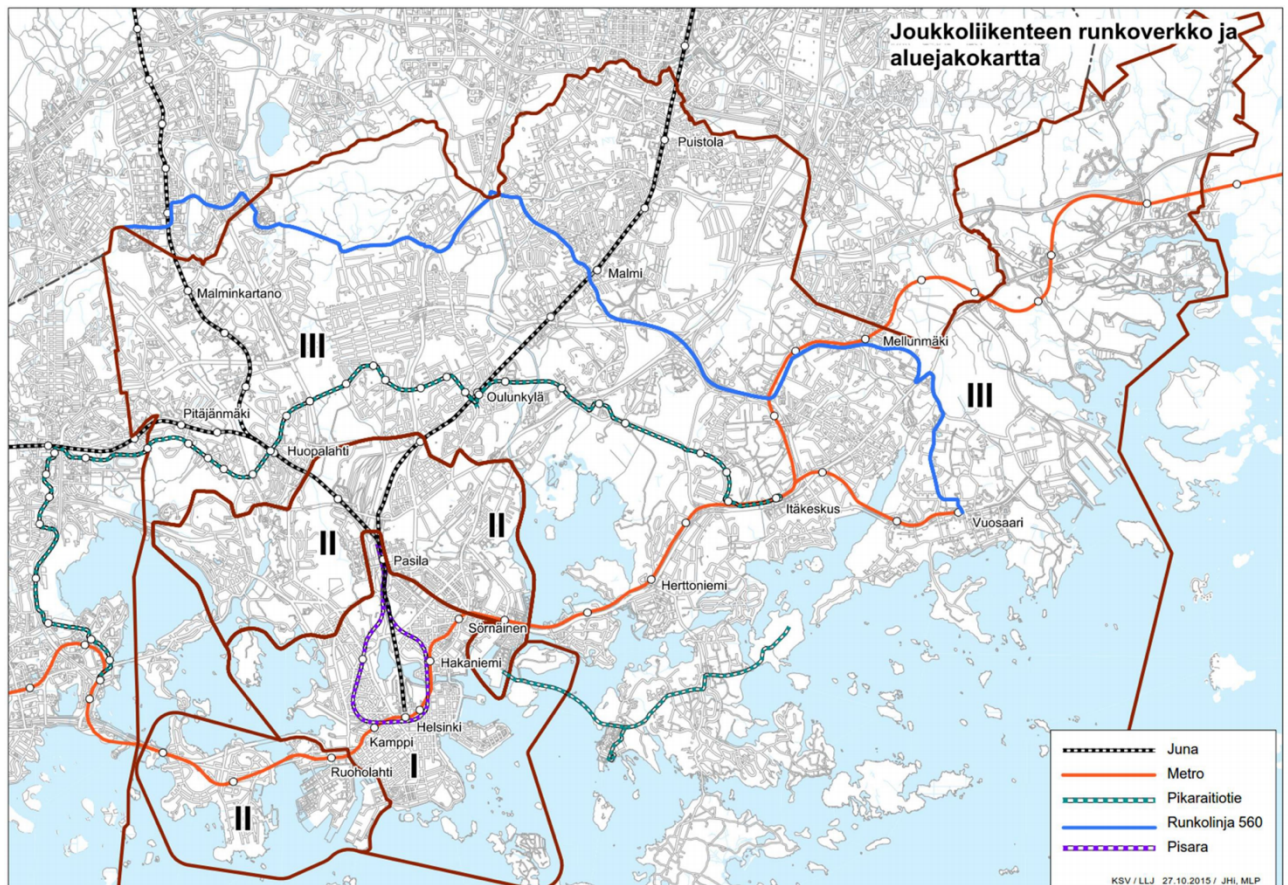


Helsingin viimeisin autopaikkojen laskentaohje on vuodelta 2015 (Helsingin kaupunki 2015b). Vuoden 2015 laskentaohjeisiin on sisällytetty uutena myös polkupyöräpaikkojen minimimääräykset, jotka ovat samat kaikilla alueilla. Autopysäköinnin osalta laskentaohjeissa on luovuttu niin sanotusta kaksoisnormista, sillä on katsottu, että kerrosalakohdaiset määräykset ovat riittävät. Kaksoisnormien asuntokohtaiset määräykset johtavat herkästi siihen, että pieniä asuntoja rakennetaan liian vähän, sillä useamman asunnon rakentaminen lisää autopaikkojen määrää, mikä taas nostaa rakennuttajille koituvia kustannuksia (Koivisto 2016). Uudessa ohjeessa on jätetty enemmän rakennuttajan harkintaan tehdä ylimääräisiä paikkoja, mikäli tehdään paljon pienikokoisia asuntoja. Vuoden 2015 ohjeesta on myös poistettu keskustaan menevät säteittäiset linja-autoyhteydet, sillä niiden palvelutaso ei ole osoittautunut tarpeeksi hyväksi vähentääkseen autonomistusta (Helsingin kaupunki 2015b). Taulukossa 3 ja kuvassa 5 on havainnollistettu kerrostalojen pysäköintipaikkojen laskentaohjeet ja aluejako uusimman, eli vuoden 2015 pysäköintinormin mukaan.

Asuintonttien pysäköintipaikkamäärien laskentaohjeiden laadinnassa on käytetty taustatietoina autonomistuksen ja asumisväljyyden nykytilanteen tietoja ja tulevaisuuden ennusteita. Nykytilanteen tiedot on saatu YKR-aineistosta ja SeutuCD:ltä, joiden perusteella on laskettu ajoneuvotiheys eri aineistoja yhdistelemällä. Ennuste autonomistamisesta pohjautuu HLJ 2015 -liikennejärjestelmätyön yhteydessä tehtyihin ennusteisiin autonomistamisen kehityksestä. Ennusteen mukaan autonomistaminen laskee noin vuoteen 2025 asti, jonka jälkeen se kääntyy uudelleen nousuun vuosien 2025 ja 2040 välillä. Asumisväljyyden ennuste pohjautuu Helsingin kaupungin tietokeskuksen vuonna 2005 julkaisemiin ennusteisiin asumisväljyyden kehityksestä vuoteen 2050 saakka. Koska asumisväljyys on kasvanut huomattavasti ennusteita hitaammin, sen käyttö tulisi kuitenkin kyseenalaistaa pysäköintinormien laskennan lähtökohtana (Helsingin kaupunki 2015b).

Taulukko 3. Helsingin asuinkerrostalojen pysäköintipaikkojen laskentaohjeet uusimman vuoden 2015 pysäköintinormin mukaan (Helsingin kaupunki 2015a).

Alue	Miniminormi autopaikoille	Miniminormi pyörä-pysäköintipaikoille
Kantakaupungin eteläosa (alue I)	1 ap / 150 k-m ² .	1 pp / 30 k-m ²
Kantakaupungin pohjoisosa ja merenrantaiset alueet sekä Lauttasaari (alue II)	Jos etäisyys lähimmälle metro- tai juna-asemalle on alle 400 metriä: 1 ap / 145 k-m ² . Muut alueet: 1 ap / 135 k-m ² .	1 pp / 30 k-m ²
Esikaupunkialueet (alue III)	Jos etäisyys lähimmälle metro- tai juna-asemalle on alle 300 metriä: 1 ap / 140 k-m ² . Jos etäisyys lähimmälle metro- tai juna-asemalle on 300-600 metriä tai pikaraitiotien pysäkillä alle 600 metriä: 1 ap / 130 k-m ² . Jos etäisyys lähimmälle metro- tai juna-asemalle on 600-900 metriä: 1 ap / 110 k-m ² . Jos etäisyys lähimmälle runkolinjan 560 pysäkillä on alle 600 metriä: 1 ap / 120 k-m ² . Muut alueet: 1 ap / 100 k-m ² .	1 pp / 30 k-m ²



Kuva 5. Nykyisten vuoden 2015 pysäköintinormien aluejako ja joukkoliikenteen runkoverkko (Helsingin kaupunki 2015a).

2.1.5 Markkinaehtoinen pysäköinti

Markkinaehtoinen pysäköinti pohjautuu Helsingin kaupunginvaltuuston määrittämään kaupunkistrategiaan, jonka mukaan *”Helsingin kaupunki pyrkii hillitsemään rakentamisen kustannuksia ja tiivistämään kaupunkirakennetta siirtymällä kilpailukykyään ja saavutettavuuttaan vaarantamatta asteittain kohti alueellista ja markkinaehtoista pysäköintijärjestelmää”* (Helsingin kaupunki 2017b: 6). Markkinaehtoisuudella tarkoitetaan sitä, että pysäköinnin tulisi maksaa itse itsensä, jolloin pysäköintipalveluiden kustannukset katettaisiin pysäköintituloilla (Helsingin kaupunki 2019; Terviö et al. 2019).

Helsingin kaupunki on hahmotellut neljä eri vaihtoehtoa markkinaehtoisuuden järjestämisestä (Helsingin kaupunki 2019). Täysin markkinaehtoisissa malleissa pysäköintipaikkoja ei määrätä asemakaavassa ollenkaan, mutta rakennuttajat voivat joko itse päättää rakennettavien pysäköintipaikkojen lukumäärän tai ostaa pysäköintipaikkoja alueellisesta keskitetystä

pysäköintilaitoksesta. Osittain markkinaehtoisissa malleissa rakennuttajat veloitetaan liittymään kaupungin perustamaan pysäköintiyhtiöön ja mahdollisesti rakennuttamaan vähintään kaavassa merkitty minimimäärä pysäköintipaikkoja (Helsingin kaupunki 2019). Seuraavassa esitellään Helsingin kaupungin hahmottelemat mallit markkinaehtoisesta pysäköinnistä, jotka nimetään vaihtoehtoiksi A, B, C ja D. Vaihtoehdot A ja B ovat kokonaan markkinaehtoisia ja perustuvat Aalto-yliopiston työryhmän tekemiin suosituksiin markkinaehtoisesta pysäköinnin järjestämisestä (Terviö et al. 2019). Vaihtoehdoissa C ja D on osittain markkinaehtoisia elementtejä, mutta niissä on velvollisuus liittyä kaupungin perustamaan pysäköintiyhtiöön. Pysäköintipaikkoja voidaan vaatia rakennettavaksi niin, että alueellinen pysäköintiyhtiö voidaan perustaa (Helsingin kaupunki 2019).

Vaihtoehdossa A ”Korttelikohtaiset ratkaisut sekä varaus keskitetylle pysäköintiratkaisulle” ei ole ollenkaan pysäköintipaikkojen minimimääräystä, jolloin pysäköintipaikkojen lukumäärä on täysin rakennuttajien päätettävissä. Pysäköintipaikat toteutetaan vaihtoehdossa A lähtökohtaisesti korttelikohtaisina, mutta mikäli kaikki paikat eivät mahdu kortteleihin, voidaan paikkoja myös sijoittaa keskitetylle pysäköintitontille, joka varataan asemakaavassa vähintään viideksi vuodeksi. Mikäli pysäköintiin varattu tontti ei toteudu viiden vuoden tai erikseen päätettävän ajan kuluttua alueen valmistumisesta, pysäköintitontti voidaan muuntaa muuhun käyttöön, esimerkiksi asumiseen tai toimitiloiksi (Helsingin kaupunki 2019).

Vaihtoehdossa B ”Keskitetty kilpailutettu pysäköintiratkaisu sekä korttelikohtaiset paikat” ei myöskään ole pysäköintipaikkojen minimimääräystä eikä veloitetta liittyä alueelliseen pysäköintiyhtiöön. Asemakaavaan merkitään suunnittelualueelle pysäköintitonttivaraus, joka kilpailutetaan. Kilpailutuksen voittaja myy tämän jälkeen rakennuttajille keskitetystä pysäköintilaitoksesta pysäköintipaikkoja määrittelemäänsä hintaan. Mikäli pysäköintipaikkoja ei varata riittävästi toteutuakseen, pysäköintitonttivaraus voidaan muuttaa muuhun käyttöön, jolloin rakennuttajat voivat rakentaa tonteilleen haluamansa määrän korttelikohtaisia paikkoja. Sekä vaihtoehto A että vaihtoehto B ovat kokonaan markkinaehtoisia, ja ne soveltuvat parhaiten tiiviille kantakaupunkialueille, joilla on kysyntää korkeamman hintaluokan pysäköintiratkaisusta ja joiden maankäyttö ja liikennejärjestelmä mahdollistavat autoriippumattoman liikkumisen (Helsingin kaupunki 2019).

Vaihtoehdossa C ”Ei pysäköintimääräystä paikkojen lukumäärästä, mutta hankkeeseen ryhtyvällä on velvollisuus liittyä alueelliseen pysäköintiyhtiöön” kaupunki velvoittaa

hankkeeseen ryhtyvät (ts. rakennuttajat) liittymään osakkeenomistajiksi alueelliseen pysäköintiyhtiöön. Hankkeeseen ryhtyvät voivat hankkia pysäköintipaikkoja alueellisesta pysäköintilaitoksesta, joka perustetaan LPA-tontille, eli autopaikkojen korttelialueelle. Mikäli pysäköintipaikoille ei ole tarpeeksi kysyntää keskitetyssä pysäköintilaitoksessa, LPA-tontti voidaan myös muuntaa muuhun käyttötarkoitukseen viiden vuoden tai muun erikseen päätettävän ajan kuluessa alueen valmistumisesta. C-vaihtoehdossa kaupungin ensisijainen tavoite on keskitetty pysäköinti, mutta myös tontti- tai korttelikohtaisten pysäköintipaikkojen rakentaminen sallitaan (Helsingin kaupunki 2019).

Vaihtoehdossa D ”Kaava velvoittaa autopaikkojen rakentamisen, millä varmistetaan keskitetyn pysäköintilaitoksen toteutuminen” asemakaavassa on pysäköintipaikkojen minimimääräys. Jokainen tontti veloitetaan hankkimaan keskitetystä pysäköintilaitoksesta minimimääräyksen verran pysäköintipaikkoja. Mikäli rakennuttajat haluavat saada minimimääräyksiä enemmän pysäköintipaikkoja, niitä voidaan rakentaa joko korttelikohtaisesti tai ostamalla lisäpaikkoja keskitetystä pysäköintilaitoksesta. Vaihtoehdon D pysäköintipaikkojen minimimääräys ei perustu tilastotietoihin alueen autonomistuksesta, vaan pysäköintimääräyksellä varmistetaan keskitetyn pysäköintilaitoksen toteutuminen. Vaihtoehdot C ja D perustuvat osittain markkinaehtoisuuteen ja osittain kaupungin nykyisiin pysäköintimalleihin. Ne soveltuvat parhaiten esikaupunkimaisille alueille, joilla on jo olemassa ei-markkinaehtoisia pysäköintiratkaisuja (Helsingin kaupunki 2019).

Markkinaehtoinen pysäköinti tulee olemaan merkittävä muutos Helsingin pysäköintipolitiikkaan. Tähän mennessä pysäköintipaikkojen määrä on ennustettu ottaen huomioon autonomistustilastot siten, että pysäköinnin kysyntä ja tarjonta kohtaisivat. Tulevaisuudessa pysäköintipaikka on ainoastaan niille, jotka ovat valmiita maksamaan autopaikasta sen markkinahinnan verran. Markkinaehtoisen pysäköinnin seurauksena autopaikat olisivat joka tapauksessa kalliimpia kuin nykyään, johtuen siitä, että paikkojen kustannukset maksavat ainoastaan paikkojen tarvitsijat. Tämän takia onkin tärkeää, että markkinaehtoista pysäköintiä järjestetään vain sellaisille alueille, joilla myös vaihtoehtoiset liikkumismuodot ovat kilpailukykyisiä.

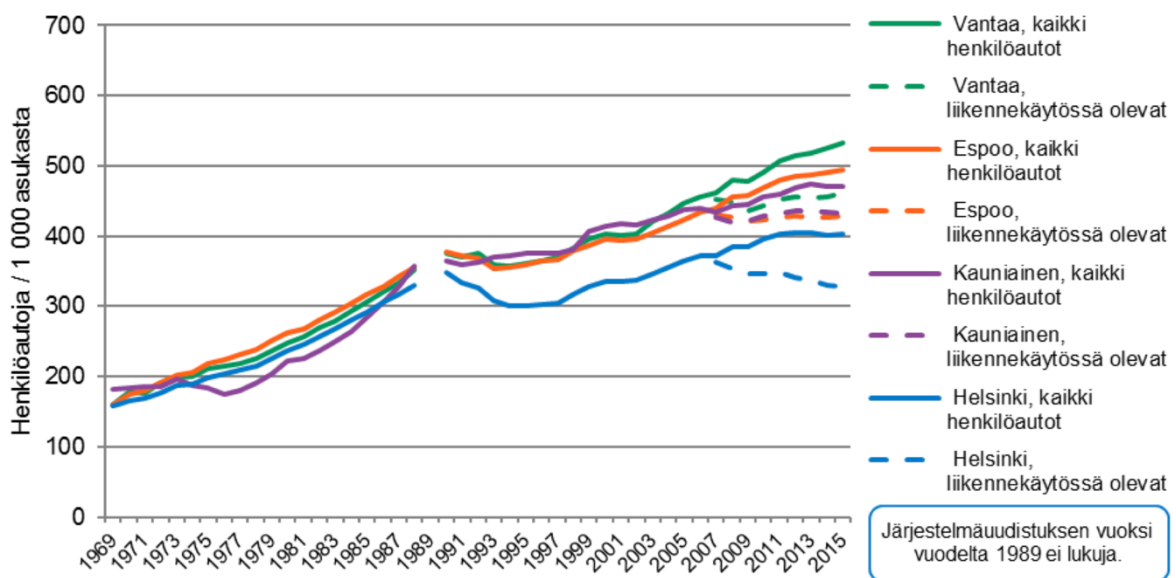
2.2 Autonomistus

2.2.1 Henkilöautojen määrä ja kulkutapaosuus

Suomessa henkilöautomatkojen osuus kaikista matkoista on viimeisimmän koko Suomea koskevan henkilöliikennetutkimuksen mukaan 61 prosenttia. Jalankulkumatkojen osuus matkoista on 22 prosenttia, pyöräilyn osuus 8 prosenttia ja julkisen liikenteen 8 prosenttia. Erot maan sisällä ovat kuitenkin huomattavia, sillä sisemmillä kaupunkialueilla henkilöautolla kuljetaan noin 44 prosenttia kaikista matkoista, kun taas maaseudulla kuljetaan lähes 75 prosenttia matkoista henkilöautolla (Liikennevirasto 2018). Helsingissä kestävien liikkumismuotojen kulkutapaosuus on nykyisin 62 prosenttia, mikä on huomattavan korkea luku muuhun maahan verrattuna. Vuonna 2016 Helsingissä tehtiin 36 prosenttia matkoista henkilöautolla, 30 prosenttia kävelen, 25 prosenttia joukkoliikenteellä ja 7 prosenttia pyöräillen (Helsingin kaupunki 2016). Muuhun Eurooppaan verrattaessa Helsingin kestävien liikkumismuotojen, eli kävelyn, joukkoliikenteen ja pyöräilyn kulkutapaosuus on kuitenkin korkeintaan keskitasoa. Liimatainen et al. (2015) toteavatkin, että Suomessa olisi etenkin kaupunkialueilla mahdollista saavuttaa nykyistä suurempiakin kestävien liikennemuotojen kulkutapaosuuksia. Esimerkiksi Sveitsissä tehdyn tutkimuksen mukaan koko maan matkoista keskimäärin 36 prosenttia kuljettiin autolla vuonna 2010. Kävely kattaa Sveitsissä 45 prosenttia matkoista, pyöräily 5 prosenttia ja joukkoliikenne 13 prosenttia matkoista. Myös Sveitsissä erot maaseudun ja kaupunkien välillä ovat suuria, sillä kaupungeissa autolla liikutaan keskimäärin vain 24 prosenttia matkoista ja kestäväillä liikkumismuodoilla loput 76 prosenttia, kun taas maaseudulla henkilöautoliikenteen osuus matkoista vaihtelee 39 ja 47 prosentin välillä (BFS 2012).

Tilastokeskuksen mukaan Suomessa oli vuoden 2017 lopussa kaikkiaan 2 692 785 liikennekäytössä olevaa henkilöautoa. Kun tämä suhteutetaan Suomen väkilukuun, joka vuoden 2017 lopussa oli 5 513 130 asukasta, saadaan keskimääräinen henkilöautotiheys, joka on noin 488 henkilöautoa tuhatta asukasta kohti. Vastaavasti Helsingissä oli vuoden 2017 lopussa 211 948 liikennekäytössä olevaa henkilöautoa, joten Helsingin autotiheys on noin 329 henkilöautoa tuhatta asukasta kohti (Tilastokeskus 2018). Kuvassa 6 on esitetty henkilöautotiheyden kehitys vuosina 1969-2015 (Brandt & Lindeqvist 2016). Kuvassa näkyvä katko johtuu järjestelmä uudistuksesta, jonka takia vuoden 1989 henkilöautotiheydestä ei ole

lukuja. Kuvasta voidaan havaita, että henkilöautotiheys on kasvanut tasaisesti kaikissa pääkaupunkiseudun kunnissa 1960-luvulta 1990-luvun lamaan asti. Lama aiheutti henkilöautotiheyden laskun kaikissa pääkaupunkiseudun kunnissa, mutta suurinta lasku oli Helsingissä. Viimeisten kymmenen vuoden aikana erityisesti liikennekäytössä olevien henkilöautojen tiheys on laskenut Helsingissä huomattavasti enemmän kuin ympäröivissä kunnissa. Vuosien 2007 ja 2017 välillä liikennekäytössä olevien henkilöautojen tiheys on laskenut Helsingissä kymmenen prosenttia, kun se Espoossa ja Vantaalla on pysynyt jotakuinkin samana. Helsingissä liikennekäytössä olevien autojen tiheys on laskenut lähes kaikilla alueilla, mutta suurinta lasku on ollut juna- ja metroratojen varsilla (Brandt & Lindeqvist 2016).



Kuva 6. Henkilöautotiheyden kehitys pääkaupunkiseudun kunnissa vuosina 1969-2015 (Brandt & Lindeqvist 2016: 27).

2.2.2 Henkilöautojen määrän ennustaminen

2.2.2.1 Autojen määrään vaikuttavat tekijät

Autonomistusta ja siihen vaikuttavia tekijöitä on tutkittu laajasti viime vuosikymmeninä (Farrington 1995; Komornicki 2003; Clark 2007; Dargay & Hanly 2007; Whelan 2007; Cao & Huang 2013; Mattioli 2014; Brandt & Lindeqvist 2016; Elolähde & Rätty 2016a). Yleisin tutkimuksissa esille tullut muuttuja on tulotaso. Lisäksi kotitalouksien rakenne, yhdyskuntarakenne ja vaihtoehtoisten kulkutapojen, kuten joukkoliikenteen tarjonta

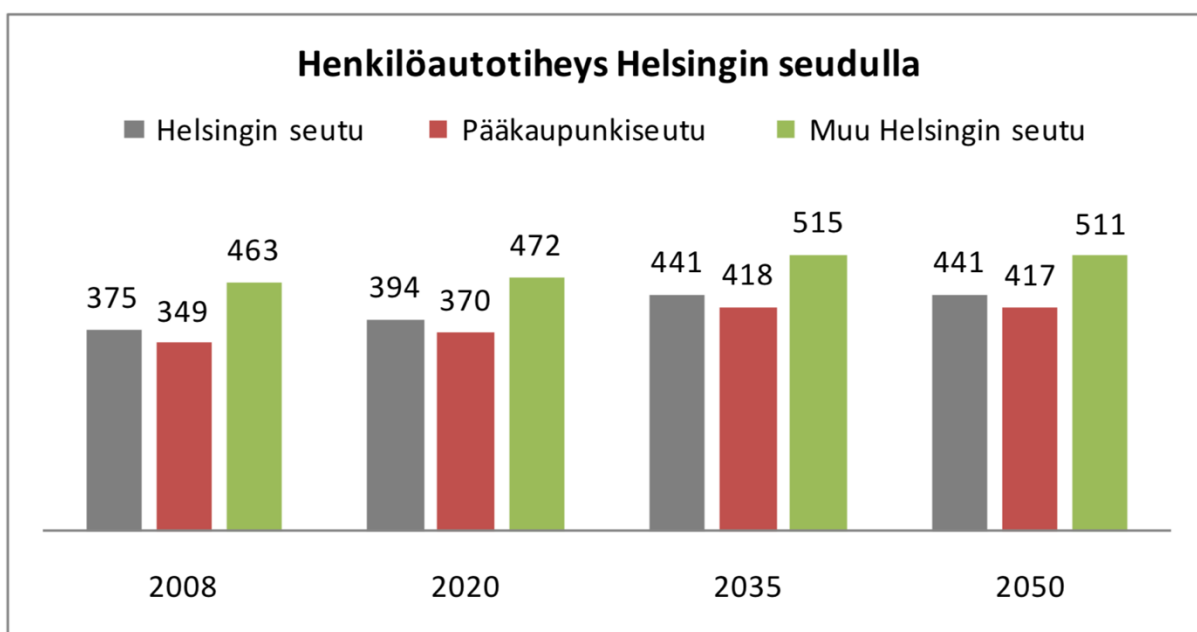
vaikuttavat autonomistukseen. HSL:n ylläpitämässä Helsingin seudun liikenne-ennustejärjestelmässä autonomistusta mallintavat muuttujat ovat mediaanitulot, asukastiheys asutuissa väestöruuduissa, kerrostalojen osuus alueen asuinkerrosalasta, erillispientalojen osuus asuinkerrosalasta, asuntokuntien keskikoko, joukkoliikenteen ja henkilöauton matkavastuksen suhde sekä pysäköintikustannus muilla kuin työperäisillä matkoilla (Elolähde & Rätty 2016a). Mallin muuttujat selittävät yhdessä yli 95 prosenttia autonomistuksesta.

Monet tutkimukset ovat kuitenkin viime vuosina havainneet, että tulotaso ei välttämättä nykyään selitä autonomistusta yhtä hyvin kuin aiempina vuosina (Brandt & Lindeqvist 2016). Le Vinen ja Jonesin (2012) mukaan auton käyttö on vähentynyt Isossa-Britanniassa kaikissa tuloluokissa 10 vuoden ajanjaksolla vuodesta 1995 vuoteen 2005, lukuun ottamatta alinta tuloluokkaa, jossa auton käyttö on pysynyt suunnilleen samana. Kaikkein eniten auton käyttö on vähentynyt ylimmässä tuloluokassa (Le Vine & Jones 2012).

2.2.2.2 Tulevaisuuden autonomistukseen ja autopaikkatarpeeseen vaikuttavat trendit

Useissa maissa ja kaupungeissa on viime vuosina havaittu autonomistamisen vähenevän, etenkin nuorten keskuudessa. Monien maiden autotiheys on viime vuosina saavuttanut niin kutsutun saturaatiopisteen (peak car) ja on sittemmin pysynyt samana tai jopa vähentynyt (Goodwin 2012). Tulevaisuuden autojen määrän ennustaminen sisältää useita epävarmuuksia, mutta useimmat asiantuntijat ovat yhtä mieltä siitä, että henkilöautokanta tulee tulevaisuudessa pienenemään. Liimatainen et al. (2015) ovat raportissaan arvioineet useita toimenpidesuosituksia liikenteen hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi 40 prosentilla vuoteen 2030 mennessä ja 80 prosentilla vuoteen 2050 mennessä. Heidän laatimansa skenaarion mukaan vuoteen 2050 mennessä henkilöliikennesuorite on noin 27 % pienempi kuin nykyään ja henkilöautokanta vähentyneen käyttötarpeen myötä noin 1,5 miljoonaa autoa vuonna 2050, mikä vastaa hieman yli 40 prosentin vähenemää nykyiseen noin 2,7 miljoonan auton autokantaan verrattuna. Henkilöautokannan pienenemiseen vaikuttaa muun muassa yhteiskäyttöautojen määrän kasvu, joista osa voi olla robottiautoja vuoteen 2050 mennessä. Myös sähköpyörrien lisääntyminen saattaa tulevaisuudessa vähentää autonomistuksen tarvetta, sillä Liikenneviraston selvityksen mukaan sähköpyörillä olisi mahdollista korvata noin 15-40 prosenttia henkilöautolla tehtävistä matkoista (Liikennevirasto 2015). Lisäksi yhdyskuntarakenteen kehittäminen ja joukkoliikenteen edistäminen johtavat

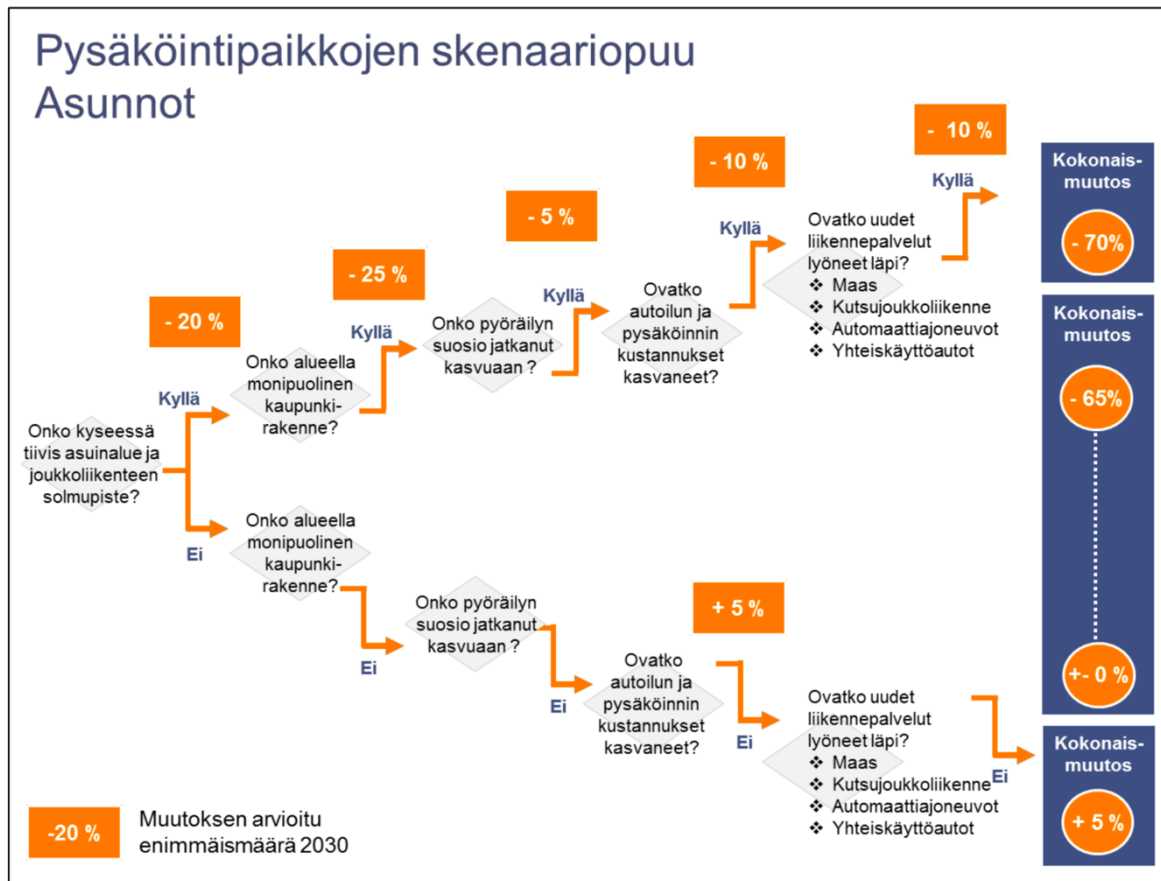
henkilöautosuoritteiden pienemiseen ja sitä kautta myös henkilöautokannan pienemiseen (Liimatainen et al. 2015: 27-29). Brandt ja Lindeqvist (2016) nostavat esille myös maahanmuuttajaväestön osuuden kasvun tulevaisuudessa autonomistuksen tarvetta mahdollisesti vähentävänä ilmiönä. Eemil Rauman Trafille tekemässä selvityksessä on arvioitu Suomen henkilöautokannan kehitystä vuoteen 2025 asti arvioimalla muun muassa talouden kehitysennusteita. Selvityksen mukaan henkilöautokanta tulee kasvamaan hitaasti vielä vuoteen 2025 asti, jonka jälkeen kanta alkaa pienentyä muun muassa liikenteen murroksen sekä vanhojen autojen suuren poistuman myötä (Rauma 2014). HLJ 2011 -projektin yhteydessä on arvioitu henkilöautotiheyden kehittymistä vuoteen 2050 asti pääkaupunkiseudulla, Helsingin seudulla ja pääkaupunkiseudun ulkopuolisella Helsingin seudulla (HLJ-projekti & Strafica Oy 2010). Pääkaupunkiseutuun kuuluvat Helsinki, Espoo, Vantaa ja Kauniainen, kun taas Helsingin seutuun kuuluvat näiden lisäksi Hyvinkää, Järvenpää, Kerava, Kirkkonummi, Nurmijärvi, Sipoo, Tuusula, Vihti, Mäntsälä ja Pornainen. Ennusteiden mukaan henkilöautotiheyden kasvu hidastuu, mutta jatkaa kasvuaan vuoteen 2035 asti, jonka jälkeen autotiheys pysyy jotakuinkin samana (kuva 7). Ennusteet eivät kuitenkaan sisällä taloudellisia liikkumisen ohjauskeinoja, kuten esimerkiksi ruuhkamaksuja (HLJ-projekti & Strafica Oy 2010).



Kuva 7. Henkilöautotiheyden kehitysennuste 2008-2050 (HLJ-projekti & Strafica Oy 2010).

Bäckström et al. (2017) ovat arvioineet selvityksessään erilaisia autonomistukseen ja pysäköintiin vaikuttavia muutosvoimia ja laatineet niiden pohjalta skenaarioita asuntojen,

toimistojen ja liiketilojen pysäköintipaikkatarpeelle vuonna 2030. Selvityksen mukaan pysäköintiin vaikuttaa monenlaisia muutosvoimia, kuten liikkumisen murros, ihmisten muuttunut suhtautuminen autonomistukseen, kaupunkirakenteen tiivistyminen, asumisen ja työnteon muuttuminen sekä palveluistuminen ja neljäs teollinen vallankumous. Asukaspysäköinnin skenaariopuun mukaan autopaikkatarpeen kehittyminen on riippuvainen eri skenaarioista, jotka voivat tapahtua toisistaan riippumatta (kuva 8). Hyvä joukkoliikenteen palvelutaso saattaa vähentää autopaikkatarvetta jopa 20 prosentilla. Monipuolisen kaupunkirakenteen ansiosta voidaan toteuttaa pysäköintipaikkojen vuorottaiskäyttöä, mikä voi vähentää autopaikkoja enintään 25 prosentilla. Jos pyöräliikenteen suosio jatkaa tähänastista kasvuaan vuoteen 2030 asti, niin tarvittavien autopaikkojen vähenemän voidaan arvioida olevan enintään 5 prosenttia. Matkojen oletetaan siirtyvän pyöräliikenteeseen etenkin lyhyistä henkilöautomatkoista, mutta haasteena on kuitenkin pyöräilyn suosio talvella. Autoilun ja pysäköinnin kustannuksilla saattaa olla hyvin suuria vaikutuksia autonomistukseen, mutta toisaalta niihin liittyy myös suuria hitausvoimia. Mikäli autoverosta luovutaan, saattaa autojen määrä jopa kasvaa. Toisaalta ajoneuvoliikenteen hinnoittelun on arvioitu vähentävän autopaikkatarvetta noin 0-5 prosenttia. Pysäköinnin kustannusten siirtäminen selkeämmin autoilijoiden maksettavaksi, eli niin sanottu käyttäjä maksaa -periaate lisäisi myös merkittävästi autoilijoiden kustannuksia, mikä vähentäisi autopaikkatarvetta. Autoveron, ajoneuvoliikenteen hinnoittelun ja käyttäjä maksaa -periaatteen yhteisvaikutuksen myötä Bäckström ja kumppanit ovat arvioineet autopaikkatarpeen vähenevän maksimissaan 10 prosenttia. Uudet liikkumispalvelut, kuten kutsuohjattu joukkoliikenne, liikkuminen palveluna (MaaS), itseohjautuvat ajoneuvot ja yhteiskäyttöautot voivat selvityksen mukaan vähentää autopaikkatarvetta jopa 10 prosentilla, mutta niihin liittyy myös epävarmuuksia ja hitausvoimia. Mikäli kaikki edellä mainitut skenaariot toteutuisivat, olisi autopaikkatarve vuonna 2030 nykyiseen verrattuna jopa 70 prosenttia pienempi. Maksimivähennyksen toteutuminen on kuitenkin epätodennäköistä, sillä silloin kaikkien skenaarioiden pitäisi toteutua täysimääräisinä (Bäckström et al. 2017).



katsottuna. Saavutettavuuden avulla voidaan myös tarkastella ajassa tapahtuneita infrastruktuurimuutoksia ennen-jälkeen -tarkastelujen avulla.

Saavutettavuuden merkitys kaupunkialueiden kilpailukyvyn kannalta on yhä tärkeämmässä roolissa, kun kaupunkialueet kilpailevat toisiaan vastaan uusista asukkaista ja yrityksistä. Laakson ja Loikkasen (2004) mukaan kaupunkialueen saavutettavuus ja liikennejärjestelmän toimivuus ovat tärkeitä tekijöitä jokaisen kaupunkialueen kilpailukyvyille ja houkuttelevuudelle, sillä kaupunkialueiden kasautumishyödyt, jotka ovat kaupunkialueiden kasvun taustalla, pohjautuvat mitä suurimmassa määrin liikenteeseen. Tämän takia onkin tärkeää, että kaupunkien maankäyttöä suunnitellaan ottaen samalla huomioon eri alueiden saavutettavuus.

Battyn (2009) mukaan saavutettavuuden juuret käsitteenä ulottuvat aina 1920-luvulle asti, jolloin sitä alettiin käyttää Pohjois-Amerikassa sijaintiteorian ja yhdyskuntasuunnittelun apuvälineenä. Saavutettavuuden ontologinen perusta on kuitenkin vanhempaa, pohjautuen muun muassa 1800- ja 1900-lukujen aluetieteilijöiden Johann Heinrich von Thünenin (1875) ja Walter Christallerin (1933) keskus- ja vaikutusalueeteorioihin.

Saavutettavuus on moniulotteinen käsite, ja sen määritelmä riippuu yleensä kustakin käyttötarkoituksesta. Tämän takia saavutettavuuden määritelmiä onkin tieteellisessä kirjallisuudessa lukemattomia. Eräs ensimmäisistä on peräisin vuodelta 1959, jolloin Walter G. Hansen määritteli saavutettavuuden ”vuorovaikutuksien potentiaaliksi” (Hansen 1959). Sen sijaan Geurs ja van Eck (2001) määrittelevät saavutettavuuden ”laajuudeksi, jonka maankäyttö-liikennejärjestelmä mahdollistaa (joukon) yksilöitä saavuttamaan aktiviteetteja tai kohteita liikennemoodi(e)n avulla”. Bertolini et al. (2005) mukaan saavutettavuus on ”tietyn ajan ja/tai kustannuksen sisällä saavutettavien kohteiden määrä ja monipuolisuus”.

Bertolini et al. (2005) toteavat, että ennen kuin voidaan tutkia saavutettavuutta, täytyy ensin tehdä muutamia ennakko-oletuksia ihmisten käyttäytymisestä: 1) ihmiset eivät yleensä matkusta ainoastaan huvikseen, vaan jotta he voisivat osallistua spatiaalisesti erillään oleviin aktiviteetteihin, kuten asumiseen, työskentelyyn, ostoksilla käymiseen tai kohteiden vierailuun; 2) ihmisten saama hyöty on sitä suurempi, mitä suuremmasta ja monipuolisemmasta joukosta aktiviteetteja heidän on mahdollista valita; 3) matkakustannukset ja erityisesti matka-aika

asettavat rajoituksia näille mahdollisuuksille (muun muassa päivittäisen matka-aikabudjetin tai työmatka-aikabudjetin muodossa).

2.3.2 Saavutettavuuden komponentit

Alankomaalaiset K. T. Geurs ja J. R. Ritsema van Eck tunnistivat laajassa saavutettavuusmittareita käsittelevässä raportissaan vuonna 2001 neljä saavutettavuuden komponenttia, jotka tulisi ottaa huomioon ideaalissa saavutettavuusmittarissa (Geurs & van Eck 2001). Nämä neljä saavutettavuuden komponenttia ovat liikenteellinen, maankäytöllinen, ajallinen ja yksilöllinen komponentti.

Liikenteellinen komponentti koostuu liikenneverkosta sekä lähtö- ja kohdepisteen välisen liikkumisen kustannuksesta liikenneverkossa tietyllä liikkumismoodilla. Liikkumisen kustannukseen sisältyvät suorat ja epäsuorat rahalliset kustannukset, ajalliset kustannukset, kuten varsinaiseen matkaan, odottamiseen ja pysäköintiin kuluva aika sekä liikkumisen vaivannäkö (luotettavuus, onnettomuusriski, mukavuus ja fyysinen työ). Liikkumisen kokonaiskustannus voidaan laskea seuraavan yksinkertaistetun kaavan avulla:

$$c_{ij} = v_m t_{ijm} + c_m d_{ijm} + u_m k_{ijm} ,$$

jossa t_{ijm} , d_{ijm} ja k_{ijm} ovat matka-aika, matkan pituus ja matkan epämukavuus pisteiden i ja j välillä moodilla m ; v_m , c_m ja u_m ovat ajan rahallinen arvo, matkan hinta kilometriä kohti sekä matkan epämukavuuden hinta moodilla m . Liikenteellinen komponentti perustuu liikenteen kysynnän ja tarjonnan kohtaamiseen, jossa kysyntäpuolen muodostavat matkustajat tai rahti, kun taas tarjontapuolen muodostavat liikenneinfrastruktuurin sijainti ja ominaisuudet, kuten esimerkiksi maksiminopeus, kapasiteetti tai julkisen liikenteen aikataulut.

Maankäytöllinen komponentti koostuu a) tarjonnasta kohdealueella, kuten esimerkiksi työpaikkojen, kauppojen tai virkistysalueiden määrästä, laadusta ja alueellisesta hajautumisesta; b) kysynnästä lähtöpisteissä (esimerkiksi asukkaiden kodeissa) sekä c) kysynnän ja tarjonnan välisestä epätasapainosta, mikä johtaa yleensä kilpailuun rajallisista resursseista.

Ajalliseen komponenttiin sisältyy toimintojen ja palveluiden saatavuus eri kellon- tai vuodenaikoina (kuten esimerkiksi kauppojen aukioloajat) sekä yksilöiden käytettävissä oleva aika eri toimintoja varten. Ajallinen komponentti pohjautuu suurelta osin Torsten Hägerstrandin (1970) tekemiin aika-tila –tutkimuksiin yksilöiden aktiivisuudesta urbaanissa tilassa.

Yksilöllinen komponentti voidaan jakaa kolmeen osaan: yksilöiden tarpeisiin, kykyihin ja mahdollisuuksiin. Yksilöiden tarpeet riippuvat muun muassa iästä, koulutus- ja tulotasosta sekä perhetilanteesta. Esimerkiksi lapsiperheet arvostavat päiväkotien ja koulujen hyvää saavutettavuutta, kun taas korkeakoulutetuille työmahdollisuudet ovat tärkeitä ja vanhuksille puolestaan terveyspalvelujen saavutettavuus on tärkeää. Yksilöiden kykyihin luetaan kuuluvaksi fyysinen kyvykkyys sekä taidot, joita tarvitaan tietyn liikennemoodin käyttämiseen. Esimerkiksi pyörätuolin käyttäjät eivät kykene käyttämään julkisia liikennevälineitä, mikäli ne eivät ole esteettömiä, kun taas ajokortittomille henkilöille auton ajaminen on poissuljettua, joten he ovat riippuvaisia julkisesta liikenteestä. Yksilöiden mahdollisuudet ovat seurausta yksilöiden tulotasosta ja aikabudjeteista. Esimerkiksi Alankomaissa alimman tuloluokan väestöstä 80 prosenttia ei omista autoa, minkä johdosta heidän liikkuvuus on julkisen tai lihasvoimaisen liikenteen varassa (Acker & Witlox 2010).

Nämä edellä mainitut neljä komponenttia vaikuttavat siis kohteiden saavutettavuuteen samanaikaisesti eri suunnista. Maankäyttökomentti vaikuttaa saavutettavuuteen määrittelemällä toimintojen saatavuutta; liikennekomponentti matka-ajan, vaivannäön ja matkakustannusten kautta; yksilökomponentti yksilöiden tarpeiden, kykyjen ja mahdollisuuksien kautta, kun taas aikakomponentti kohteiden ja yksilöiden ajallisten rajoitusten kautta. Toisaalta vaikutus ei ole vain yhdensuuntaista, vaan myös saavutettavuus vaikuttaa näihin komponentteihin takaisinkytkentöjen kautta. Kohteiden saavutettavuus on tärkeä tekijä esimerkiksi yritysten ja asukkaiden sijaintipäätöksissä, ja vaikuttaa sitä kautta maankäyttökomenttiin. Jonkin kohteen hyvä tai huono saavutettavuus myös vaikuttaa liikenteen kysyntään, ja sitä kautta liikennekomponenttiin. Saavutettavuus myös vaikuttaa siihen, kuinka paljon yksilöillä on aikaa eri toimintoja varten ja sitä kautta aikakomponenttiin. Yksilökomponenttiin saavutettavuus taas vaikuttaa yksilöiden taloudellisten ja sosiaalisten mahdollisuuksien kautta.

Täydellisen saavutettavuusmittarin tulisi ideaalitilanteessa ottaa huomioon kaikki neljä komponenttia saavutettavuuden mittaamisessa. Johtuen saavutettavuuden moniulotteisuudesta, saavutettavuusmittarit käytännössä kuitenkin keskittyvät yleensä yhteen tai korkeintaan muutamaan näistä komponenteista, riippuen tutkimuksen tavoitteesta ja näkökulmasta. Tämä tutkielma keskittyy erityisesti maankäyttö- ja liikennekomponenttiin, jättäen ajallisen ja yksilöllisen komponentin vähemmälle huomiolle.

2.3.3 Saavutettavuuden mittarit

Koska saavutettavuuden määritelmiä ja komponentteja on monia, riippuen saavutettavuuden kustakin käyttötarkoituksesta, on myös saavutettavuutta kuvaavia mittareita tieteellisessä kirjallisuudessa lukemattomia. Handy ja Niemeierin (1997) mukaan saavutettavuuden mittarit voidaan jakaa karkeasti kolmeen eri kategoriaan: kumulatiivisen mahdollisuuksien mittareihin, painovoimaperusteisiin mittareihin sekä hyötyperusteisiin mittareihin. Sen sijaan Geurs ja van Eck (2001) erottelevat saavutettavuusmittarit infrastruktuuri-, aktiivisuus- ja hyötyperusteisten mittareiden välillä. Curtisin ja Scheurerin (2010) jaottelussa saavutettavuusmittarit jaetaan seitsemään eri kategoriaan: spatiaalisen erottelun mittareihin, samanarvonkäyrien mittareihin, painovoimaperusteisiin mittareihin, kilpailuun perustuviin mittareihin, aika-tilamittareihin, hyötyperusteisiin mittareihin sekä verkostoperusteisiin mittareihin. Yleisimmin käytetyssä jaottelussa Geurs ja van Wee (2004) jaottelevat saavutettavuusmittarit neljään eri kategoriaan: infrastruktuuri-, sijainti-, yksilö- ja hyötyperusteisiin saavutettavuusmittareihin. Tämä tutkielma keskittyy näistä erityisesti sijaintiperusteisiin mittareihin.

Infrastruktuuriperusteisiin saavutettavuusmittareihin kuuluvat esimerkiksi matka-aika, ruuhkaisuus tai verkoston käyttönopeus. Infrastruktuuriperusteiset mittarit mittaavat sitä, miten toimiva liikenneinfrastruktuuri on tietyssä paikassa. Ne eivät kuitenkaan ota huomioon maankäyttökomenttia, eivätkä ota kantaa siihen, missä "tärkeät" kohteet sijaitsevat. Esimerkiksi Suomessa liikenneverkko on erityisen ruuhkautunut pääkaupunkiseudulla ruuhka-aikaan kehäteillä sekä suurilla sisääntuloväylillä. Siten infrastruktuuriperusteisen mittarin mukaan saavutettavuus on huonointa pääkaupunkiseudulla, johtuen suurista ajallisista kustannuksista sekä auton käyttökustannuksista. Toisaalta pääkaupunkiseudun työpaikkatiheys on Suomen suurinta, joten potentiaalisen saavutettavuuden mittarin näkökulmasta pääkaupunkiseudulla olisi korkea työpaikkasaavutettavuus, ruuhkaisuudesta huolimatta. Tätä ristiriitaa infrastruktuuriperusteiset mittarit eivät ota huomioon. Lisäksi Geurs ja van Eck

(2001) huomauttavat, että infrastruktuuriperusteiset mittarit eivät ota huomioon parantuneiden tieolosuhteiden vaikutusta maankäyttöön, sillä esimerkiksi suurilla ajonopeuksilla on taipumusta lisätä negatiivisia ulkoisvaikutuksia, kuten kaupunkialueen hajautumista (Geurs & van Eck 2001; Geurs & van Wee 2004).

Sijaintiperusteiset saavutettavuusmittarit ottavat infrastruktuurikomponentin lisäksi huomioon myös maankäyttökomponentin. Sijaintiperusteiset saavutettavuusmittarit voidaan jakaa neljään ryhmään: etäisyysmittareihin, isokroonisiin (eli kumulatiivisen mahdollisuuksien) mittareihin, potentiaalisen saavutettavuuden mittareihin sekä spatiaalisen vuorovaikutuksen malleihin. Näistä käytetyimmät ovat isokrooniset mittarit ja potentiaalisen saavutettavuuden mittarit (Geurs & van Eck 2001). Yksinkertaisin sijaintiperusteinen saavutettavuusmittari on etäisyysmittari. Esimerkki etäisyysmittarista on Ingramin (1971) kehittämä suhteellinen saavutettavuus, eli samalla tasolla sijaitsevien kahden pisteen välinen yhteys. Tätä yhteyttä voidaan kuvata esimerkiksi etäisyytenä, keskimääräisenä matka-aikana tai keskimääräisenä nopeutena.

Isokrooniset saavutettavuusmittarit, joita kirjallisuudessa kutsutaan myös kumulatiivisen mahdollisuuksien mittareiksi, esittävät mahdollisuuksien (eli kohteiden) määrää tietyn kustannusarvon, kuten ajan tai etäisyyden sisällä. Isokroonisten saavutettavuusmittareiden lähtökohtana on, että saavutettavuus on sitä suurempi, mitä enemmän kohteita on mahdollista saavuttaa tietyn ajan tai etäisyyden sisällä. Brehenyn (1978) mukaan isokrooniset mittarit voidaan jakaa kolmeen luokkaan: kiinteiden kustannusten isokrooneihin, kiinteiden mahdollisuuksien isokrooneihin sekä kiinteän väestön isokrooneihin. Kiinteiden kustannusten isokrooneissa lasketaan mahdollisuuksien määrä verkossa tietyn aika- tai muun kustannuksen sisällä. Usein kiinteiden kustannusten isokroonisissa mittareissa käytetään 30 minuutin matka-aikarajaa, johtuen siitä, että tutkimusten mukaan esimerkiksi Hollannissa ja Ranskassa suurin osa työmatkoista on kestoltaan alle 30 minuuttia (Bertolini et al. 2005: 211). Kiinteiden mahdollisuuksien isokroonit taas esittävät absoluuttisen tai keskimääräisen matka-ajan tai kustannuksen, mikä tarvitaan, jotta voidaan saavuttaa tietty määrä kohteita. Esimerkki kiinteiden mahdollisuuksien isokroonista voisi olla vaikkapa, kuinka kauan kestää saavuttaa 100 työpaikkaa pisteestä x, tai mikä on keskimääräinen matka-aika lähimpään kirjastoon. Kiinteän väestön isokrooneissa taas esitetään tietyn alueen kustannusten tai mahdollisuuksien määrä asukasta kohti. Esimerkki kiinteän väestön isokroonista voisi olla, mikä on alueen A keskimääräinen matka-aika asukasta kohti lähimpään kirjastoon. Isokroonisten

saavutettavuusmittareiden vahvuuksiin kuuluu, että ne ovat yksinkertaisia ja käytännöllisiä, ja niitä on yleensä helppo tulkita, joten ne soveltuvat siksi hyvin poliittisen päätöksenteon tueksi. Lisäksi isokroonisten mittareiden tarvitsemat aineistot, kuten matka-aika tai väestön ja kohteiden määrä, ovat yleensä helposti saatavilla ja laskettavissa. Isokroonisten mittareiden heikkouksiin kuuluu, että ne asettavat kaikki tietyn isokroonin sisällä olevat kohteet samanarvoisiksi riippumatta niiden ominaisuuksista tai etäisyydestä lähtöpisteeseen. Esimerkiksi 30 minuutin työpaikkakertymissä viiden minuutin päässä oleva työpaikka on samanarvoinen 29 minuutin päässä olevan työpaikan kanssa, ja toisaalta taas 31 minuutin päässä olevalla työpaikalla ei ole analyysissä mitään arvoa. Lisäksi heikkouksiin kuuluu isokroonien raja-arvon määrittämisen mielivaltaisuus.

Mielivaltaisen tai sattumanvaraisen spatiaalisen raja-arvon käyttäminen voidaan välttää käyttämällä potentiaalisia saavutettavuusmittareita. Potentiaaliset mittarit (toiselta nimeltään painovoimaperusteiset mittarit) mahdollistavat sen, että saavutettavuus kohteeseen laskee asteittain matka-ajan tai –etäisyyden noustessa. Potentiaaliset mittarit ottavat huomioon kohteen etäisyyden tai matka-ajan lisäksi myös kohteen ominaisuudet, kuten esimerkiksi kohteen työpaikkojen määrän, ja painottavat kohteita niiden avulla. Siten esimerkiksi työpaikkojen tapauksessa potentiaalinen saavutettavuus olisi sitä suurempi, mitä enemmän työpaikkoja kohteessa on, tai mitä lähempänä lähtöpistettä kohde sijaitsee. Potentiaalisten saavutettavuusmittareiden mukaan saavutettavuus on sitä suurempi, mitä lähempänä kohde sijaitsee lähtöpistettä, tai mitä enemmän kohteessa on attraktioita (Handy & Niemeier 1997; Geurs & Ritsema van Eck 2001; Geurs & van Wee 2004). Ensimmäisen kerran potentiaalisen saavutettavuuden esitteli Hansen (1959), minkä jälkeen potentiaalisen saavutettavuuden mittareita on käytetty tieteellisessä tutkimuksessa monen tyyppisen saavutettavuuden mallintamiseen. Sovelluskohteita ovat olleet muun muassa työpaikkojen, päivittäistavarakauppojen, väestön, koulujen tai virkistysalueiden saavutettavuus. Monet tutkimukset ovat lisäksi käyttäneet potentiaalisen saavutettavuuden mittareita esittämään alueen markkinapotentiaalia, käyttäen kaavan parametreina kohdealueen bruttokansantuotetta tai tulotasoa (Geurs & Ritsema van Eck 2001). Potentiaalisen saavutettavuusmittarin vahvuuksiin kuuluu se, että mittari sisältää maankäytön ja liikennejärjestelmän yhteenlasketun vaikutuksen saavutettavuuteen. Lisäksi mittarin negatiivisen impedanssifunktion ansiosta kohteen saavutettavuus saadaan pienenemään vähitellen etäisyyden tai muun kustannuksen kasvaessa. Potentiaalisen saavutettavuusmittarin eräs heikkouksista on sen vaikeaselkoisuus

esimerkiksi poliittisen päätöksenteon tukena. Lisäksi potentiaalinen saavutettavuusmittari ei ota huomioon kohteiden kysynnän ja tarjonnan epätasapainosta syntyvää kilpailua.

Jotta voitaisiin ottaa huomioon kohteiden kysynnän ja tarjonnan kohtaamisesta syntyvää kilpailua, monet tutkijat 1970-luvulta lähtien ovat käyttäneet niin kutsuttuja spatiaalisen vuorovaikutuksen malleja. Wilson (1971) luokitteli spatiaalisen vuorovaikutuksen mallit kolmeen eri luokkaan niiden laskentatavan mukaan: kysyntälähtöiseen malliin, tarjontalähtöiseen malliin sekä tasapainottavien tekijöiden vuorovaikutusmalliin. Kysyntälähtöisessä spatiaalisen vuorovaikutuksen mallissa jaetaan mahdollisuuksien lukumäärä alueella i (esimerkiksi päiväkotipaikat) kysynnän potentiaalilla alueella i (esimerkiksi alle 6-vuotiaiden lukumäärä). Kysyntälähtöinen vuorovaikutusmalli sopii tilanteisiin, joissa kysyntä ja tarjonta sijoittuvat samalle suhteellisen pienelle alueelle, kuten esimerkiksi päiväkotien tai alakoulujen tapauksessa. Se ei kuitenkaan toimi tilanteissa, joissa kysynnän ja tarjonnan välinen etäisyys voi olla suuri, kuten esimerkiksi työnhaussa. Työnhaun tapauksessa työnhakija joutuu kilpailemaan paitsi samalla alueella asuvien työnhakijoiden kanssa, myös niiden työnhakijoiden, jotka voivat saavuttaa työpaikan toiselta asuinalueelta käsin. Seuraava spatiaalisen vuorovaikutuksen malli, tarjontalähtöinen malli, ottaa huomioon sen, että kohteen kysyntä ja tarjonta voivat sijaita eri alueilla. Tarjontalähtöisessä mallissa jaetaan tarjonta, eli mahdollisuuksien lukumäärä lähtöpisteestä i (esimerkiksi lääkärit) jokaisen kohteen j potentiaalisella kysynnällä (esimerkiksi potilaat). Tarjontalähtöisen mallin heikkous piilee kuitenkin siinä, että se ottaa kilpailuvaikutuksen huomioon vain kohteista käsin. Esimerkiksi lääkäreiden ja potilaiden välisessä saavutettavuudessa tarjontalähtöisen mallin mukaan lääkäreiden saavutettavuus pienenee, jos potilaiden määrä lääkärin saavutettavuusalueella nousee. Malli ei kuitenkaan ota huomioon muiden lääkäreiden tasapainottavaa vaikutusta kysyntään potilaiden alueella, mikä johtaa kilpailuvaikutuksen yliarviointiin. Tämän tasapainottavan vaikutuksen huomioon ottamiseksi Wilson kehitti vuonna 1971 tasapainottavien tekijöiden vuorovaikutusmallin (Wilson 1971). Tasapainottavien tekijöiden mallissa varmistetaan, että liikennevirran suuruus (esimerkiksi matkojen määrä) alueiden i ja j välillä vastaa alueen i kysynnän ja alueen j tarjonnan määrää. Täten mallissa lasketaan erikseen arvot muuttujille a_i ja b_j , joiden tehtävänä on varmistaa, että liikennevirta alueelta i alueelle j vastaa aktiveettien määrää alueella i (esimerkiksi työntekijät) ja alueella j (esimerkiksi työpaikat). Koska muuttujat a_i ja b_j ovat toisistaan riippuvaisia, laskutoimitukset täytyy suorittaa iteratiivisesti: ensin lasketaan a_i siten että b_j vastaa lukua 1, jonka jälkeen

sijoitetaan a_i :n saama arvo b_j :n laskukaavaan, jonka jälkeen prosessi toistetaan, kunnes tasapaino on saavutettu. Tasapainottavien tekijöiden vuorovaikutusmallin vahvuus on siinä, että se ottaa huomioon sekä kohteiden tarjonnasta, että lähtöpisteiden kysynnästä käytävää kilpailua. Siten malli on erityisen hyödyllinen sellaisten ilmiöiden saavutettavuuden mallintamisessa, joissa kilpailua esiintyy sekä lähtö- että kohdepisteissä. Mahdollinen sovelluskohde voisi olla esimerkiksi työpaikkojen saavutettavuus, sillä siinä sekä työntekijät kilpailevat toisiaan vastaan työpaikoista, että työnantajat työntekijöistä. Tasapainottavien tekijöiden mallin suurin heikkous on kuitenkin edellä mainittu laskuprosessin monivaiheisuus, mikä tekee saavutettavuuden mallintamisesta työlästä. Tämä voi olla syynä sille, minkä takia tasapainottavien tekijöiden mallia on vain harvoin käytetty mittarina varsinaisissa saavutettavuustutkimuksissa (Geurs & van Eck 2003).

Yksilöperusteiset saavutettavuusmittarit, toiselta nimeltään tila-aikamittarit (space-time measures), analysoivat saavutettavuutta yksilöiden tai kotitalouksien tasolla. Yksilöperusteinen saavutettavuus pohjautuu Torsten Hägerstrandin (1970) kehittämään aika-tilakuutiomalliin, joka kuvaa yksilön päivittäistä toimintaa ajassa ja paikassa. Aika-tilakuutiomallin x- ja y-akselit kuvaavat toiminnan sijoittautumista tilan suhteen ja z-akseli ajan suhteen. Siten aika-tilakuutiomalli tuottaa ylöspäin mutkittelevan käyrän, joka kuvaa yksilön liikkumista ajan ja paikan suhteen. Aika-tilakuutiomallin voidaan siten katsoa olevan tietynlainen saavutettavuusmittari, sillä sen tuloksena saadaan ne potentiaaliset alueet, jotka yksilön on mahdollista saavuttaa ottaen huomioon ennalta määritetyt ajalliset rajoitteet. Esimerkiksi jonkin kohteen saavutettavuus voi olla tunnin matka-ajan päässä lähtöpisteestä, mutta mikäli matkaa tekevällä henkilöllä ei ole ylimääräistä aikaa päivässä kahden tunnin verran, jää matka häneltä tekemättä. Yksilöperusteisten saavutettavuusmittareiden vahvuus on, että ne ottavat käytännössä kaikki saavutettavuuden komponentit huomioon, eli sekä liikenteellisen, ajallisen, yksilöllisen että myös maankäytöllisen komponentin. Lisäksi yksilöperusteiset saavutettavuusmittarit sallivat saavutettavuuden vertailun muun muassa väestöryhmien etnisen taustan tai sukupuolen mukaan. Yksilöperusteisten mittareiden suurin heikkous on niiden vaatiman aineiston keruun vaikeus (Geurs & van Eck 2001).

Hyötyperusteiset saavutettavuusmittarit ottavat huomioon ihmisten erilaiset preferenssit kohteita valitessaan. Hyötyperusteiset mittarit olettavat, että yksilöt ovat rationaalisia ja että he voivat asettaa kohteet tiettyyn järjestykseen niistä saatavan hyödyn perusteella. Siten yksilö valitsee aina sen kohteen, joka maksimoi hänen hyötynsä. Hyötyperusteiset mittarit lasketaan

multinomiaalisen logitmallin avulla, jonka muuttujat sisältävät ideaalitalanteessa tiedon kohteiden kokonaishyödyistä yksilöiden kannalta. Muuttujat heijastavat kohteen houkuttelevuutta, matkavastusta kohteeseen sekä yksilöiden henkilökohtaisia mieltymyksiä ja preferenssejä, joita kuvataan yksilöiden sosioekonomisten ominaisuuksien kautta (Handy & Niemeier 1997).

Curtis ja Scheurer (2010) tuovat esille **verkstoperusteiset saavutettavuusmittarit**, jotka analysoivat yksittäisten kohteiden tai yksilöiden sijaan kokonaisia verkostoja ja niiden saavutettavuutta. Verkstoperusteisen saavutettavuuden esittelivät Porta et al. (2006) artikkelissaan, jossa he analysoivat eri kaupunkien tieverkkojen topologiaa. Verkstoperäisen saavutettavuuden pohja on Hillierin ja Hansonin space syntax -menetelmässä, jossa verkstograafeja tarkastellaan kahden eri menetelmän avulla, jotka perustuvat noodien ja niitä yhdistävien linkkien välisiin vuorovaikutussuhteisiin. Primaaligraafi-menetelmässä esimerkiksi tieverkon risteyksiä kuvataan verkon noodeina ja teitä linkkeinä. Sen sijaan duaaligraafissa teitä kuvataan noodeina ja teitä yhdistäviä risteyksiä verkon linkkeinä. Porta et al. esittelevät artikkelissaan useita keskeisyys-indeksejä, joiden tehtävänä on analysoida verkon rakennetta ja ominaisuuksia (Porta, Crucitti & Latora 2006).

Geursin ja van Eekin (2001) mukaan saavutettavuusmittarit, joita eniten käytetään käytännön sovelluksissa, ovat isokrooniset mittarit sekä yksinkertaiset potentiaalisen saavutettavuuden mittarit. Matemaattisesti monimutkaisempia mittareita, kuten esimerkiksi tasapainottavien tekijöiden vuorovaikutusmallia, tai paremman teoreettisen pohjan omaavia mittareita, kuten esimerkiksi hyöty- tai yksilöperusteisia saavutettavuusmittareita käytetään loppujen lopuksi käytännön sovelluksissa melko vähän, vaikka ne ovatkin teoreettisesta näkökulmasta parhaat mittarit (Geurs & van Eck 2001). Vandenbulcke et al. (2009) toteavat, että suurin metodologinen haaste on löytää sellainen saavutettavuusmittari, joka on samaan aikaan teoreettisesta ja empiirisestä näkökulmasta tarpeeksi hyvä, mutta samaan aikaan tarpeeksi yksinkertainen käytettäväksi maankäytön tai liikenteen suunnittelussa. Koska kaikki saavutettavuusmittarit eroavat toisistaan niiden viestittävyiden, operationalisoinnin sekä luettavuuden näkökulmasta, haasteena on löytää sopiva tasapaino näiden välillä.

2.3.4 Potentiaalisen saavutettavuuden mittarit

Potentiaaliset saavutettavuusmittarit hyödyntävät Toblerin maantieteen ensimmäistä lakia, jonka mukaan *”kaikki liittyy kaikkeen, mutta lähellä olevat kohteet ovat tärkeämpiä kuin kauempana olevat kohteet”* (Tobler 1970). Täten potentiaali-indikaattorit olettavat, että kohteiden houkuttelevuus pienenee etäisyyden, matka-ajan tai matkakustannuksen kasvaessa. Yleispiirteisesti potentiaali-indikaattorit noudattavat seuraavaa muotoa:

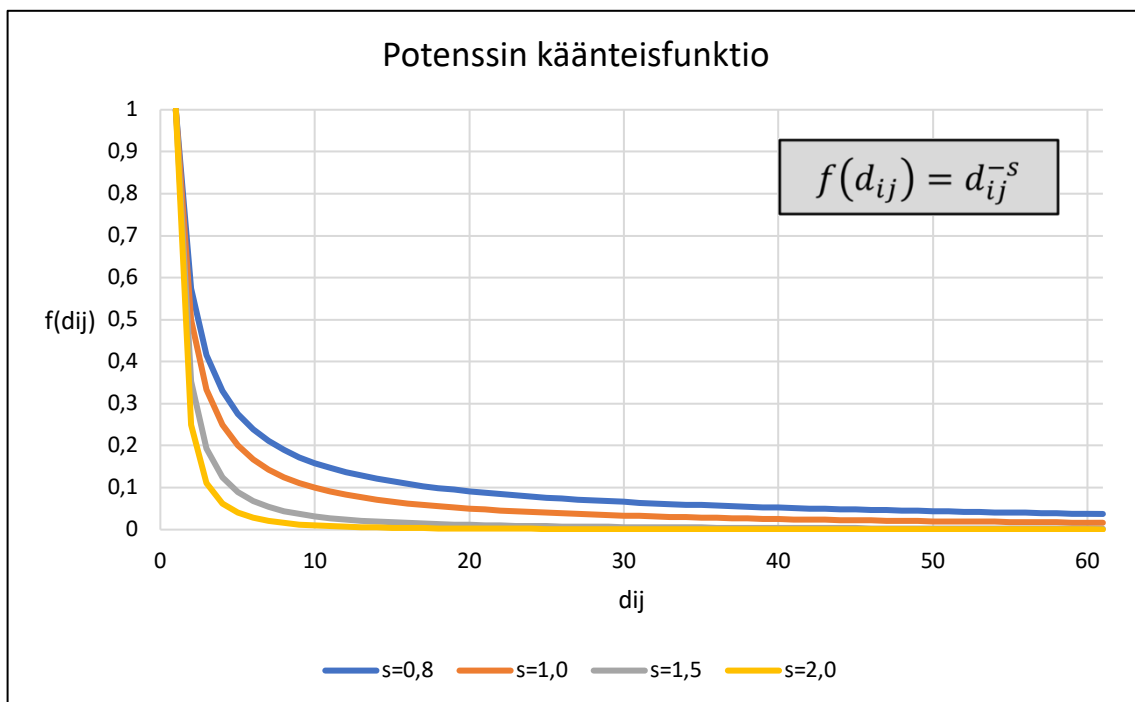
$$A_i = \sum_{j=1}^n g(P_j) * f(d_{ij}),$$

jossa A_i kuvaa lähtöalueen saavutettavuutta, $g(P_j)$ on funktio, joka kuvaa kohdealueen potentiaalia ja $f(d_{ij})$ on impedanssifunktio, joka vaikuttaa negatiivisesti kohteiden saavutettavuuteen etäisyyden kasvaessa (Handy & Niemeier, 1997; Spiekermann & Neubauer, 2002). Potentiaali-indikaattoreiden etu suhteessa isokroonisiin saavutettavuusmittareihin on, että niissä kohteita voidaan painottaa niiden matka-ajan mukaan, eikä niissä ole tarve käyttää mielivaltaisesti määritettyä etäisyyden raja-arvoa. Saavutettavuudessa eniten käytetty etäisyysmuuttuja on matka-aika. Handy ja Niemeier (1997: 1179) antavat yleiskatsauksen eniten käytetyistä etäisyysmuuttujista ja kritisoiivat samalla pelkän lineaarisen etäisyyden käyttämistä etäisyysmuuttujana, sillä matka-aika vaikuttaa matkustuskäyttäytymiseen enemmän kuin pelkkä etäisyys. Matka-aikaa käytettäessä on kuitenkin päätettävä, käytetäänkö ruuhka-ajan vai ruuhka-ajan ulkopuolisia matka-aikoja. Suomessa potentiaalisia saavutettavuusmittareita on käytetty muun muassa Helsingin seudun liikenteen ja Strafica Oy:n tekemissä RUUTI2-saavutettavuusmalleissa (HSL 2014).

Potentiaalisten saavutettavuusmittareiden etäisyysvastuksen suuruus riippuu vahvasti siitä, millaista impedanssifunktiota käytetään. Käytetyimmät potentiaalisen saavutettavuuden impedanssifunktiot ovat potenssin käänteisfunktio, negatiivinen eksponenttifunktio, muokattu Gaussin funktio ja log-logistinen funktio (Kwan 1998: 200). Ingram (1971) ja Kwan (1998) ovat artikkeleissaan vertailleet näiden impedanssifunktioiden eroja. Negatiivinen eksponenttifunktio on näistä eniten käytetty ja joidenkin tutkimusten mukaan lähimpänä matkustuskäyttäytymisen teoriaa (Ingram 1971: 103; Handy & Niemeier 1997: 1177). Potenssin käänteisfunktio muodostuu seuraavasta kaavasta:

$$f(d_{ij}) = d_{ij}^{-s},$$

jossa parametrin s suuruus vaikuttaa käyrän jyrkkyyteen ja siihen, milloin käyrä alkaa lähestyä nollaa. Potenssin käänteisfunktio ei kuitenkaan toimi suoraan, mikäli halutaan ottaa huomioon lähtöalueen saavutettavuus kohdassa $d = 0$, sillä silloin jouduttaisiin jakamaan nolllalla, mistä seuraisi määrittelemätön tulos. Kuvassa 9 on esitetty potenssin käänteisfunktio käyttäen eri arvoja parametrille s . Pystyakselilla on kuvattu impedanssin suuruus ja vaaka-akselilla etäisyys, jonka voidaan ajatella esittävän joko lineaarista etäisyyttä kilometreissä tai matka-aikaa esimerkiksi minuutteina. Kuten kuvasta 9 havaitaan, potenssin käänteisfunktion käyrä laskee ensin lähes kohtisuoraan alas, jonka jälkeen käyrä loivenee ja alkaa hitaasti lähestyä kohti nollaa.

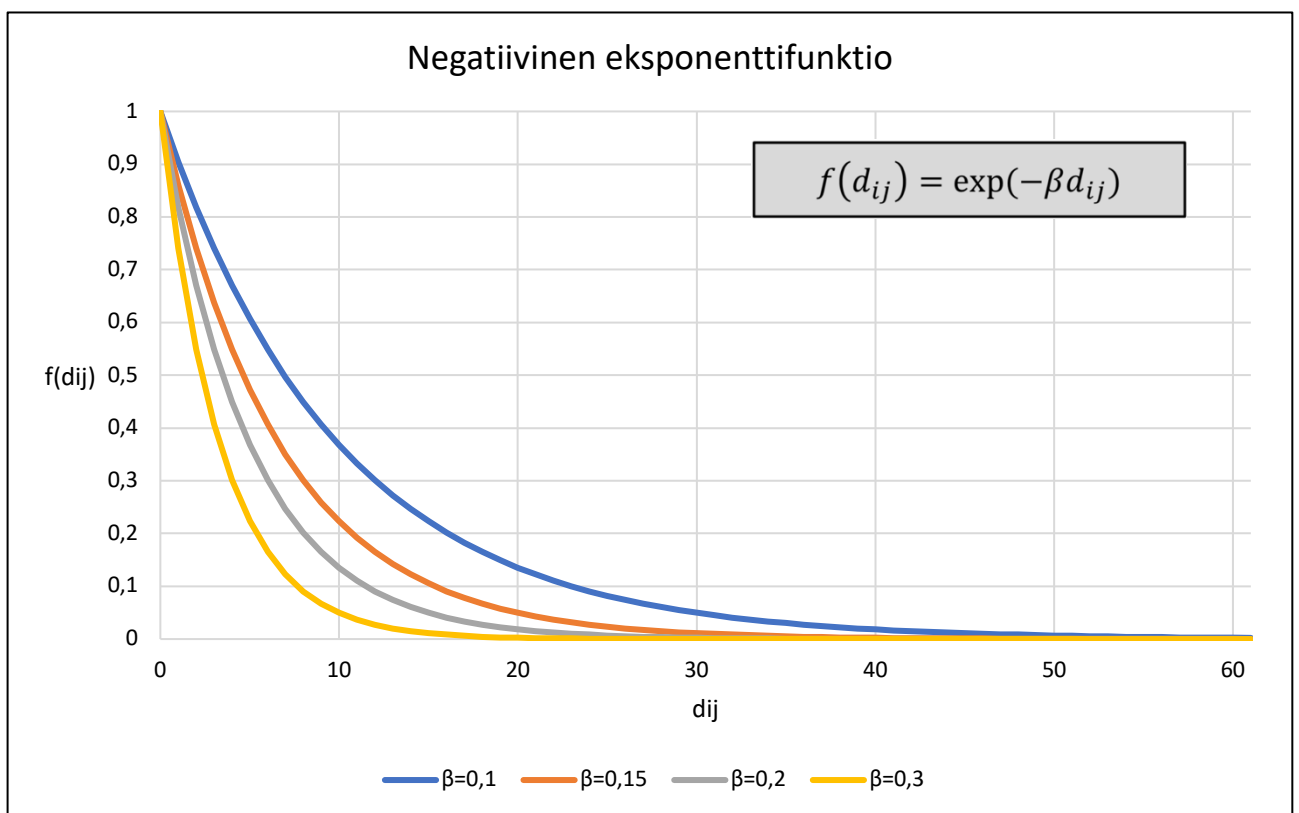


Kuva 9. Etäisyysvastus käyttäen potenssin käänteisfunktioita. Vaaka-akseli kuvaa etäisyyttä (esimerkiksi matka-aikaa), kun taas pystyakseli kuvaa etäisyysvastuksen painokerrointa.

Negatiivisessa eksponenttifunktiossa ongelmaa nolalla jakamisesta ei ole. Negatiivinen eksponenttifunktio noudattaa kaavaa:

$$f(d_{ij}) = \exp(-\beta d_{ij}),$$

jossa parametri β määrittää käyrän jyrkkyyden. Kuvassa 10 on esitetty negatiivinen eksponenttifunktio eri β :n arvoilla. Negatiivinen eksponenttifunktio laskee hieman loivemmin alas ja lähestyy aiemmin nollaa kuin potenssin käänteisfunktio. Ongelmana kuitenkin sekä potenssin käänteisfunktiossa että negatiivisessa eksponenttifunktiossa on, että molemmissa funktioissa käyrä laskee melko nopeasti alas, mikä korostaa lähellä olevien kohteiden merkitystä liian paljon. Ingram (1971: 105) ja Kwan (1998: 194) esittävät, että tämän takia potentiaalisessa saavutettavuudessa tulisi käyttää muokattua Gaussin funktiota impedanssina. Edellä esitettyjen funktioiden vahvuuksiin kuuluu kuitenkin, että yhdelläkään näistä funktioista ei ole nollakohtaa, minkä johdosta teoriassa kaikilla alueilla on marginaalinen vaikutus lähtöalueen saavutettavuuteen.

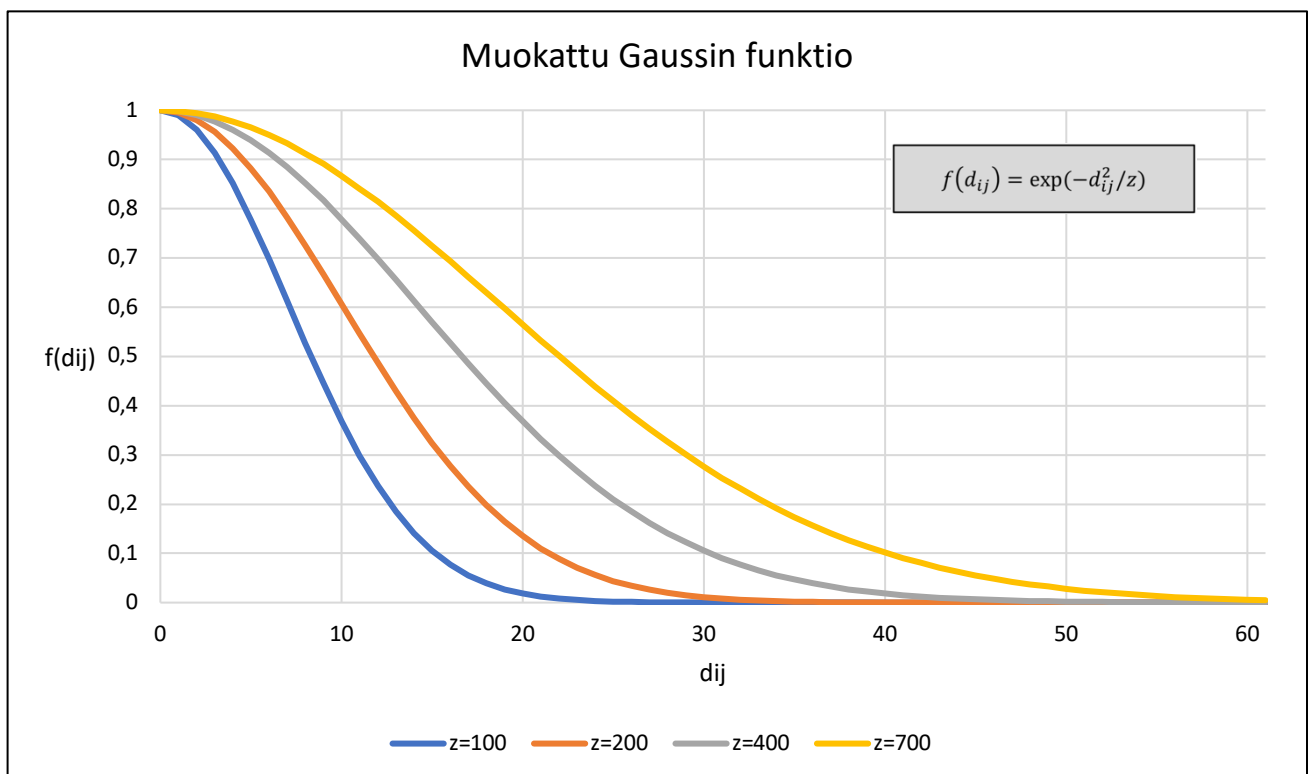


Kuva 10. Etäisyysvastus käyttäen negatiivista eksponenttifunktiota.

Kuvassa 11 on esitetty muokattu Gaussin funktio parametrin z eri arvoilla. Funktio noudattaa seuraavaa muotoa:

$$f(d_{ij}) = \exp(-d_{ij}^2/z),$$

jossa korkeammat parametrin z arvot tuottavat loivemman käyrän ja painottavat samalla enemmän kauempana olevia kohteita. Muokatun Gaussin käyrän etu on, että käyrä on ylhäältä laakea, minkä johdosta saavutettavuus ei heikkene liian nopeasti lyhyillä etäisyyksillä. Lisäksi käyrän etuna on, että se laskeutuu pehmeästi huipulta alas, ja lähestyy tietyn etäisyyden kohdalla lähelle nollaa, josta se jatkaa nollan lähestymistä kohti ääretöntä. Haasteena on kuitenkin valita sellainen parametrin z arvo, joka vastaa eniten todellista matkustuskäyttäytymistä. Ingram (1971: 106) ehdottaa parametrin z arvoksi kaikkien alueiden välisen keskimääräisen etäisyyden neliötä. Geurs ja van Eck (2001: 146) huomauttavat, että muokatun Gaussin funktion heikkoutena on, että funktio laskeutuu liian lähelle nollaa pitkillä etäisyyksillä.

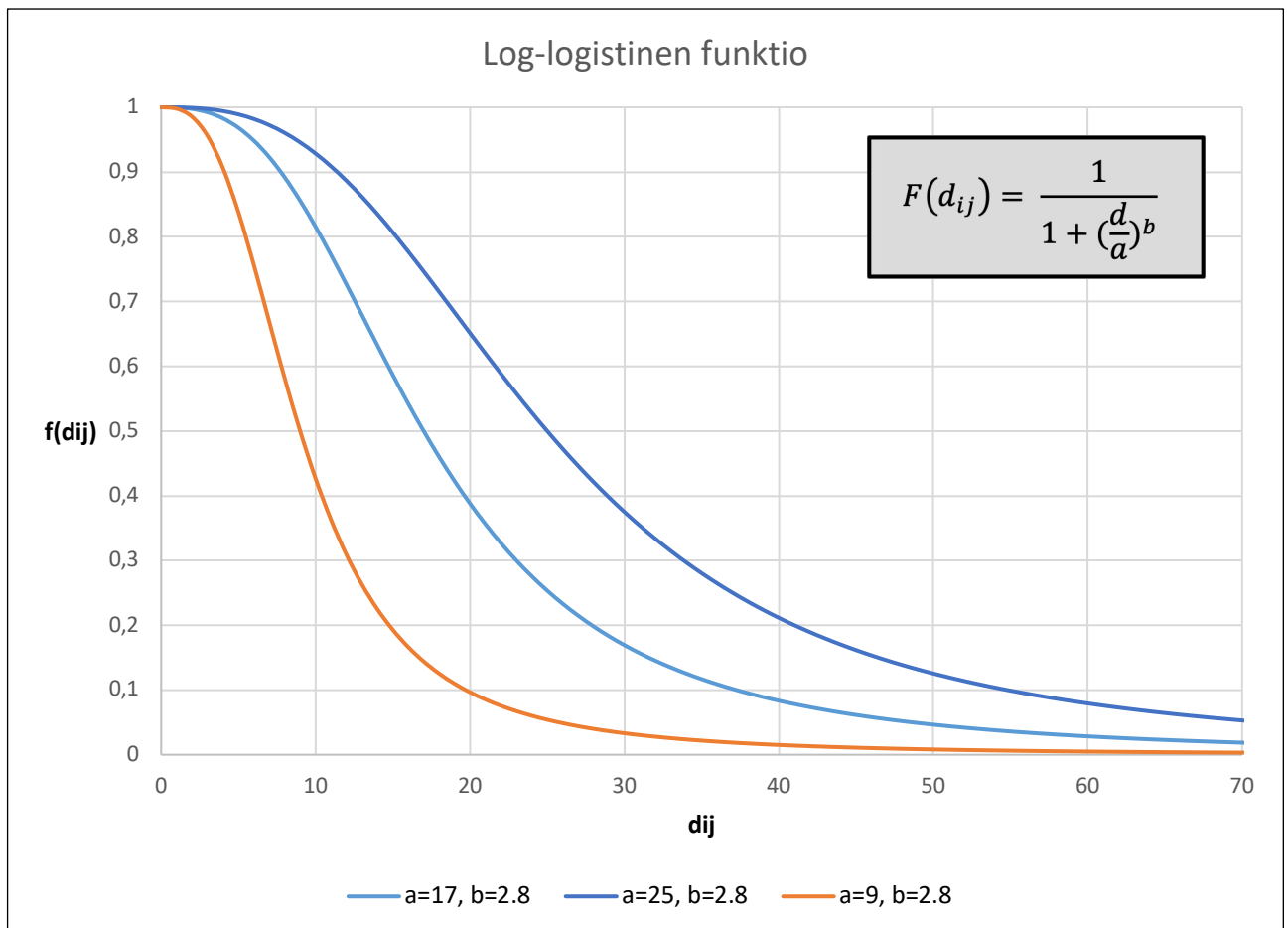


Kuva 11. Muokattu Gaussin funktio.

Kuvassa 12 on esitetty log-logistinen funktio. Funktio noudattaa seuraavaa kaavaa:

$$f(d_{ij}) = \frac{1}{1 + (\frac{d}{a})^b},$$

jossa korkeammat parametrin a arvot siirtävät käyrää oikealle ja b :n arvot loiventavat tai jyrkentävät käyrää alusta ja lopusta (Geurs & van Eck 2001). Log-logistinen funktio on muodoltaan erittäin lähellä muokattua Gaussin funktiota, mutta erona on, että log-logistinen käyrä ei laskeudu pitkällä etäisyyksillä yhtä lähelle nollaa kuin muokattu Gaussin funktio. Geurs ja van Eck (2001) ovat tutkimuksessaan havainneet, että log-logistisen funktion käyrällä on korkein korrelaatio todellisen matkustuskäyttäytymisen kanssa vertailtaessa todellisten matka-aikojen kumulatiivista jakaumaa funktion arvoihin.



Kuva 12. Etäisyysvastus käyttäen log-logistista funktiota.

3 TUTKIMUSALUE

3.1 Helsinki tutkimuskohteena

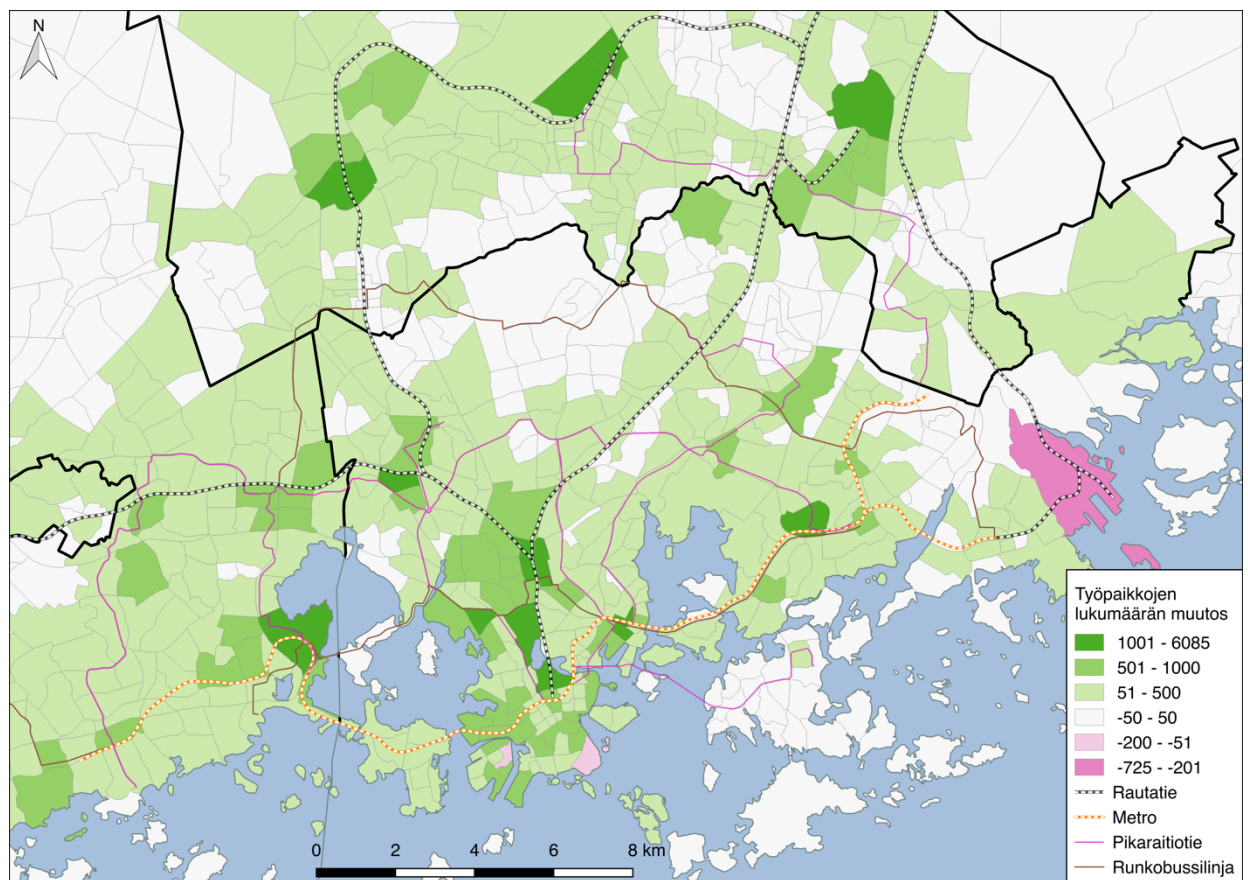
Tämän tutkielman tutkimuskohteena on Helsinki. Tutkielman HELMET-mallien avulla tehdyt saavutettavuusanalyysit on kuitenkin tehty koko Helsingin seudun työssäkäyntialueelle, jotta välttyttäisiin maantieteellisissä tutkimuksissa yleiseltä reunavaikutukselta (edge effect), joka vääristää havaintoja lähellä tutkimusalueen reunoja (De Smith et al. 2018). Helsingin seudun työssäkäyntialueella tarkoitetaan tässä yhteydessä laajaa aluetta, johon kuuluu pääkaupunkiseudun, eli Helsingin, Espoon, Vantaan ja Kauniaisten lisäksi koko Uudenmaan maakunta ja Riihimäen seutukunta (Elolähde & Rätty 2016a).

3.2 Helsingin seudun yhdyskuntarakenne

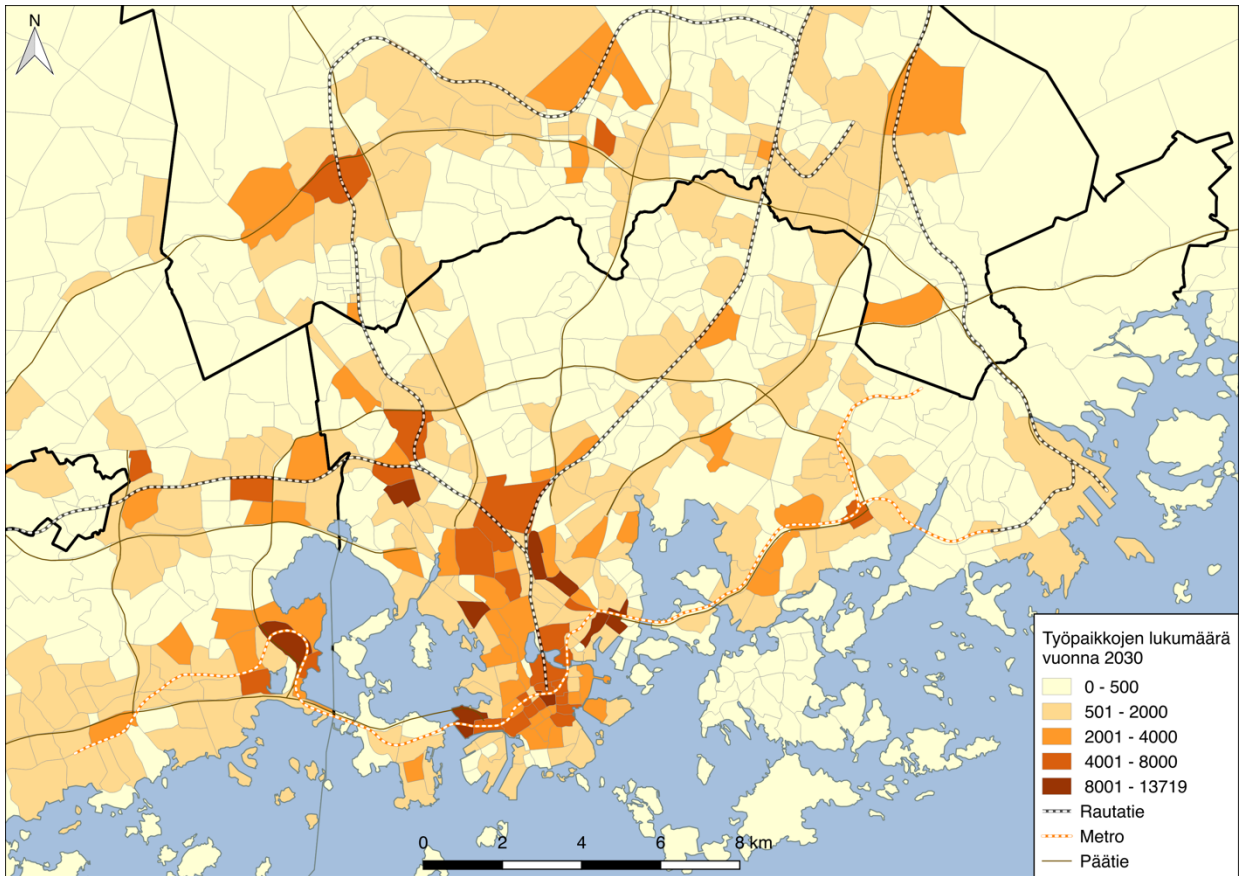
Helsingin seutu on tällä hetkellä Suomen suurin kaupunkiseutu ja aluekehittämisen konsulttitoimisto MDI:n (2019) mukaan Suomen nopeimmin kasvava kaupunkiseutu vuoteen 2040 asti. Helsingin seudun työssäkäyntialueella asuu tällä hetkellä noin 1,6 miljoonaa asukasta ja seudulla on noin 730 000 työpaikkaa. Taulukossa 4 on kuvattu tutkimusalueen väestö- ja työpaikkamäärät nykyhetkenä sekä vuonna 2030. Taulukon aineistona on käytetty tutkielmassa käytettyjä HELMET 3.0 -maankäyttöennusteita, jotka perustuvat MAL 2019 -maankäyttöennusteisiin. Kuvassa 14 on esitetty työpaikkojen sijoittuminen tutkimusalueelle vuonna 2030 ja kuvassa 13 on visualisoitu työpaikkojen määrän muutos tutkimusalueella pienalueittain. Kuten kuvasta nähdään, työpaikkojen määrä nousee lähes kaikilla Helsingin pienalueilla ja Helsinkiä ympäröivillä alueilla. Eniten uusia työpaikkoja tulee Otaniemen, Pasilan, Meilahden, Pitäjänmäen ja Aviapoliksen alueille sekä päärautatieasemalta Pasilaan ulottuvan ratapihan alueelle. Merkittävimmät työpaikka-alueet sijaitsevat vuonna 2030 ydinkeskustassa sekä Meilahden, Ruoholahden, Pitäjänmäen ja Otaniemen alueilla sekä Kalasatamasta Pasilaan ulottuvalla vyöhykkeellä.

Taulukko 4. Tutkimusalueen väestö- ja työpaikkamäärät (aineisto: HELMET 3.0)

	Väestö 2017	Väestö 2030	Työpaikat 2017	Työpaikat 2030
Helsinki	615 225	723 384	358 557	437 166
Pääkaupunkiseutu	1 108 360	1 314 790	569 840	722 201
Helsingin seudun työssäkäyntialue	1 646 740	1 929 640	730 739	916 327



Kuva 13. Työpaikkamäärien muutos tutkimusalueella vuosien 2017 ja 2030 välillä.



Kuva 14. Työpaikkojen sijoittuminen tutkimusalueella vuonna 2030.

3.3 Helsingin seudun liikenneverkko

Tässä tutkielmassa käytetyt HELMET-liikenne-ennusteet perustuvat Helsingin seudun HLJ 2015 -liikennejärjestelmäsuunnitelmaan. Helsingin seudun liikennejärjestelmäsuunnitelma on strateginen pitkän tähtäimen suunnitelma, jonka tarkoituksena on kehittää seudun liikennejärjestelmää kokonaisuutena. HLJ 2015 -suunnitelma on laadittu Helsingin seudun 14 kunnan alueelle ja se on valmisteltu tiiviissä yhteistyössä seudun yhteisen maankäyttösuunnitelman (MASU) ja siihen sisältyvän asuntostrategian kanssa (HLJ 2015 -projekti 2015). HLJ-suunnitelmassa on mukana monia merkittäviä joukkoliikenneverkon hankkeita kuten pikaraitioiteita ja runkobussilinjoja. Lisäksi HLJ-hankkeeseen sisältyvät ajoneuvoliikenteen ruuhkamaksut, jotka vähentävät autoliikenteen ruuhkautumista ja nopeuttavat siten autolla liikkumista. Taulukoissa 5 ja 6 on esitetty HLJ 2015 -suunnitelman merkittävimmät auto- ja joukkoliikennehankkeet tässä tutkielmassa käytettyjen saavutettavuusaineistojen taustalla. Kuvassa 15 on visualisoitu joukkoliikenneverkon merkittävimmät hankkeet kartalle. Liitteissä 2-11 on esitetty auto- ja joukkoliikenteen

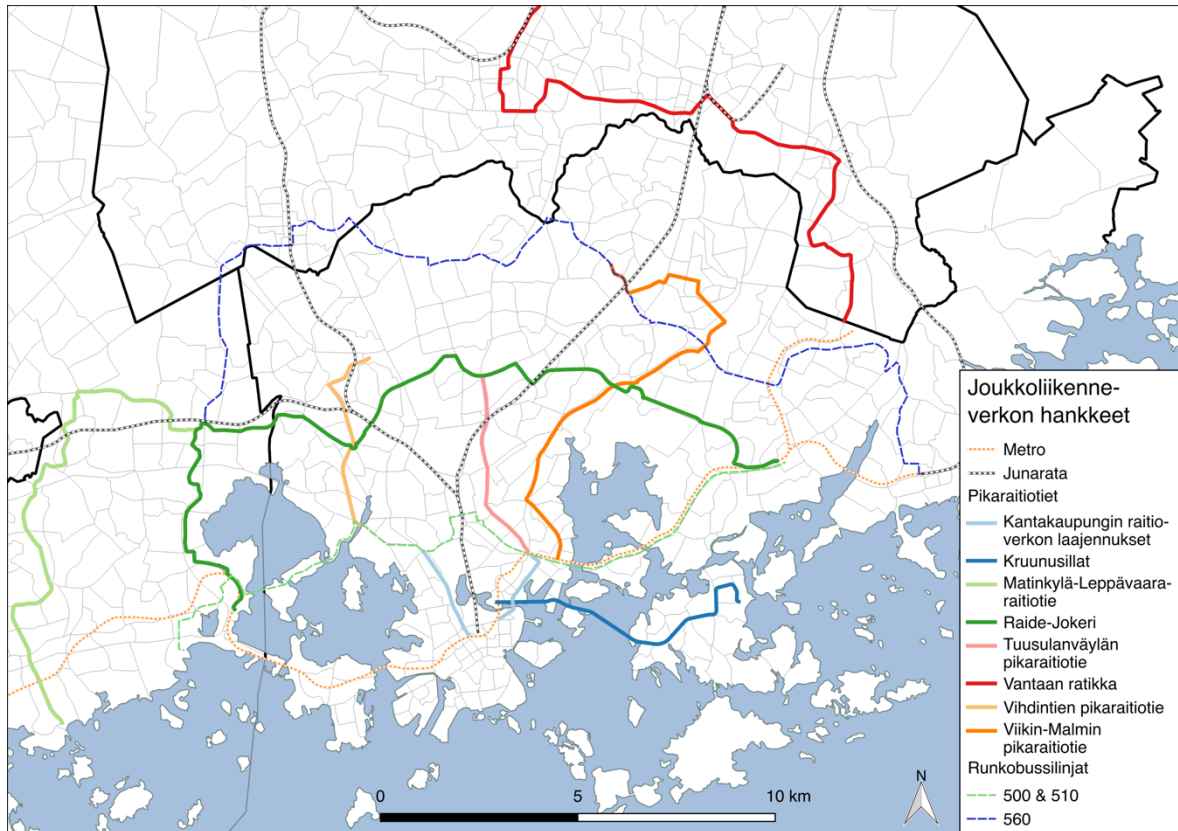
keskimääräiset lähtevät ja saapuvat matka-ajat kaikista pääkaupunkiseudun pienalueista kaikkiin pääkaupunkiseudun pienalueisiin ja niiden muutokset vuosien 2017 ja 2030 välillä.

Taulukko 5. Autoverkon hankkeet HELMET 2030-ennusteissa.

Autoverkon hankkeet
Klaukkalan ohikulkutie
Kehä III välillä Askisto-Pakkala
VT4 Lahdenväylä (lisäkaistat Kehä III-Koivukylänväylä)
VT4 Lahdenväylä (lisäkaistat Koivukylänväylä-Kulomäentie)
Kehä I Maarinsolmu ja Hagalundin tunneli
Malmin lentokenttäalueen yhteydet (Tattarisilta, Kehä I:n ja Lahdenväylän liittymäalue)

Taulukko 6. Joukkoliikenneverkon hankkeet HELMET-mallissa 2030.

Joukkoliikenneverkon hankkeet
Pasilan läntinen lisäraide ja Helsingin ratapihan parantaminen
Länsimetro Ruoholahti-Kivenlahti ja metron automatisointi
Kantakaupungin raitioverkon laajennukset
Raide-Jokeri: Itäkeskus - Keilaniemi
Kruunusillat (Laajasalon raitiotie)
Viikin-Malmin pikaraitiotie, Rautatientori - Malmin asema
Vihdintien pikaraitiotie, Rautatientori - Pohjois-Haaga
Tuusulanväylän pikaraitiotie, Rautatientori – Maunula
Vantaan ratikka, Mellunmäki-Tikkurila-Aviapolis-Lentoasema
Matinkylä-Leppävaara -raitiotie
Runkobussilinjat 500 (Itäkeskus-Pasila-Munkkivuori), 510 (Herttoniemi-Pasila-Otaniemi), 560 (Vuosaari-Leppävaara) ja 570 (Aviapolis-Tikkurila-Mellunmäki)



Kuva 15. Joukkoliikenneverkon merkittävimmät hankkeet vuosina 2017-2030.

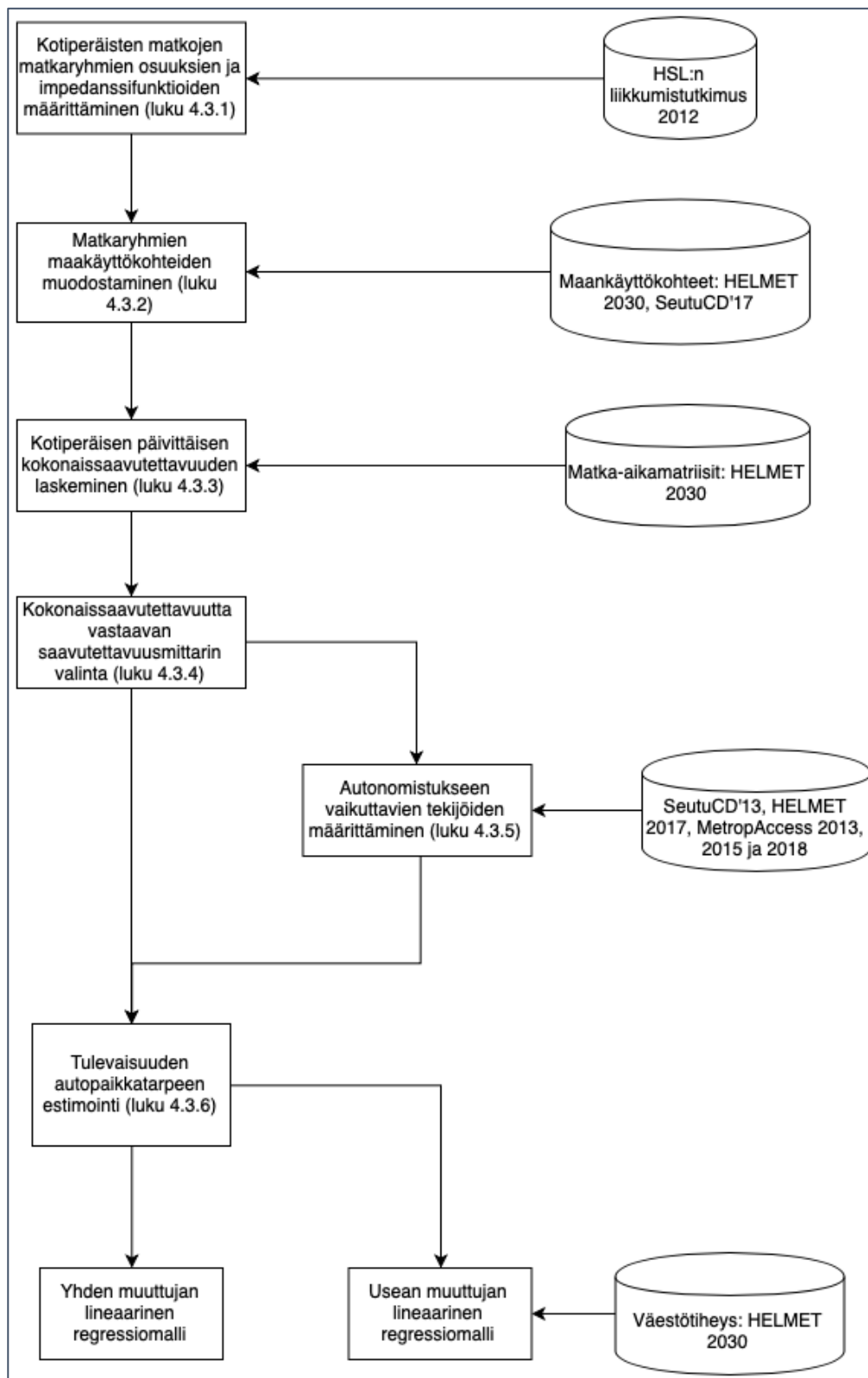
4 AINEISTO JA MENETELMÄT

4.1 Työn päävaiheet

Tutkimuksen päävaiheet ovat nähtävissä kuvasta 16 ja tutkimuksessa käytetyt aineistot ovat taulukossa 7. Tutkimus alkoi HSL:n liikkumistutkimuksen kotiperäisten matkojen osuuksien ja impedanssifunktioiden määrittämisellä (luku 4.3.1). Tämän jälkeen muodostettiin matkaryhmien maankäyttökohteet HELMET-maankäyttöennusteiden sekä SeutuCD'17:n maankäyttöaineistojen avulla, jotka summattiin yhteen pääkaupunkiseudun 901:n pienalueen tasolle (luku 4.3.2). Lopulta maankäyttökohteet ja matka-aikamatriisit yhdistettiin ja kaikkien matkaryhmien kaikille pienalueille laskettiin potentiaalinen saavutettavuus Python-komentosarjojen avulla käyttäen etäisyysvastuksina potentiaalisia impedanssifunktioita. Tämän jälkeen matkaryhmien saavutettavuudet laskettiin yhteen matkaryhmien keskinäisten osuuksien perusteella, minkä tuloksena saatiin kotiperäisten päivittäisten matkojen kokonaissaavutettavuus (luku 4.3.3). Kokonaissaavutettavuuden laskemisen jälkeen pyrittiin

löytämään yksittäinen yksinkertaisempi saavutettavuusmittari, joka vastaisi kokonaissaavutettavuutta mahdollisimman hyvin. Mittareiden vertailu ja valinta tehtiin hajontakuvioiden ja Pearson-korrelaatioanalyysin avulla (luku 4.3.4).

Autonomistukseen vuonna 2013 vaikuttavien tekijöiden määrittely on esitelty luvussa 4.3.5. Selitettävinä muuttujina käytettiin SeutuCD:n tiedoista saatuja autonomistusindikaattoreita ja selittävinä muuttujina erilaisia maankäyttö- ja saavutettavuusindikaattoreita, jotka saatiin SeutuCD:n, HELMET-mallin ja MetropAccess-matka-aikamatriisien aineistoja yhdistelemällä. Tutkielman lopussa luvussa 4.3.6 estimoitiin tulevaisuuden autopaikkatarvetta vuonna 2030 hyödyntämällä tutkielman aiemmissa vaiheissa saatuja tuloksia. Vuoden 2030 autopaikkatarpeen estimointi tehtiin lineaarisen regressioanalyysin avulla. Regressiomalleilla pyrittiin mallintamaan tulevaisuuden autonomistusta käyttäen sekä yhden muuttujan lineaarista regressiomallia, jossa selittävänä muuttujana käytettiin saavutettavuusmittareita ja usean muuttujan lineaarista regressiomallia, jossa selittävinä muuttujina käytettiin väestötiheyttä ja saavutettavuusmittareita.



Kuva 16. Vuokaavio tutkielmatyön kulusta.

4.2 Aineisto

Taulukko 7. Työssä käytetyt aineistot.

Aineiston nimi	Kuvailu	Käyttövaihe	Lähde
HSL Liikkumistutkimus 2012	Helsingin seudun asukkaiden matkojen matka-ajat, lähtöpaikat, määränpää ja matkaryhmät yhden arkivuorokauden ajalta.	Impedanssifunktioiden määrittäminen ja matkaryhmien osuuksien laskeminen (luku 4.3.1)	(HSL 2013)
Rakennustasoinen väestö 2017	Rakennuksittain summattu tieto asukkaiden määrästä, sukupuolesta, kielisyydestä ja iästä.	Saavutettavuuden maankäyttökohteiden muodostaminen (luku 4.3.2)	SeutuCD'17 (Väestörekisterikeskus 2017)
Yritykset ja toimipaikat (YrTP ja JulKTP) 2015	Yrityksen, julkisyhteisön sekä sen toimipaikan tunnistetieto ja sijaintitieto sekä tietoja toimialasta, henkilökunnan määrästä, yhteisömuodosta yms.	Saavutettavuuden maankäyttökohteiden muodostaminen (luku 4.3.2)	SeutuCD'17 (Tilastokeskus 2015)
Pääkaupunkiseudun palvelupisteet 2018 (kunnat ja kuntayhtymät)	Aineisto sisältää pääosan pääkaupunkiseudun kuntien palveluiden sijainneista pistemuotoisena paikkatietona.	Saavutettavuuden maankäyttökohteiden muodostaminen (luku 4.3.2)	SeutuCD'17 (Espoon, Helsingin, Kauniaisten ja Vantaan kaupungit 2018)
HELMET 3.0	Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikenne-ennustejärjestelmän matka-aikamatriisit ja maankäyttötiedot vuosille 2017 ja 2030.	Saavutettavuuden maankäyttökohteiden muodostaminen (4.3.2), kokonaissaavutettavuuden laskeminen (luku 4.3.3), yksinkertaistetun saavutettavuusmittarin määrittäminen (luku 4.3.4), autonomistukseen vaikuttavien tekijöiden laskeminen (luku 4.3.5), tulevaisuuden autonomistuksen estimointi (luku 4.3.6)	(HSL 2018)
Rakennukset 2013	Pääkaupunkiseudun rakennusten sijainti-, pinta-ala- ja käyttötarkoitustiedot.	Autonomistukseen vaikuttavien tekijöiden laskeminen (asumisväljyys), luku 4.3.5	SeutuCD'13 (Pääkaupunkiseudun kunnat 2013)
SeutuRAMAVA 2013	Sisältää paikkatietoa pääkaupunkiseudun voimassa olevien asemakaavojen rakennusmaavarannoista.	Autonomistukseen vaikuttavien tekijöiden laskeminen (kerrosala, kerrostalojen ja pientalojen osuudet), luku 4.3.5	SeutuCD'17 (HSY & Pääkaupunkiseudun kunnat 2013)
Seudulliset tulotasotiedot 2013	Aluemuotoinen paikkatieto 15 vuotta täyttäneen väestön valtionveronalaisista tuloista (euroa) vuoden viimeisenä päivänä.	Autonomistukseen vaikuttavien tekijöiden laskeminen (keskitulo), luku 4.3.5	SeutuCD'13 (Tilastokeskus 2013b)
MetropAccess matka-aikamatriisit 2013, 2015 ja 2018	Matka-aika- ja etäisyystiedot eri kulkumuodoilla kaikkien pääkaupunkiseudun 250 metrin YKR-tilastoruutujen välillä vuosina 2013, 2015 ja 2018.	Autonomistukseen vaikuttavien tekijöiden laskeminen (saavutettavuusmittarit), luku 4.3.5	(Toivonen <i>et al.</i> 2014b, 2015; Tenkanen <i>et al.</i> 2018)
Rakennustasoinen väestö 2013	Rakennuksittain summattu tieto asukkaiden määrästä, sukupuolesta, kielisyydestä ja iästä.	Autonomistukseen vaikuttavien tekijöiden laskeminen (alle 15-vuotiaiden osuus, väestötiheys, autotiheys), luku 4.3.5; tulevaisuuden autonomistuksen estimointi (väestötiheys), luku 4.3.6	SeutuCD'13 (Väestörekisterikeskus 2013)
Autonomistustiedot 2013	Autonomistustiedot sisältävät pääkaupunkiseudun perusalueille summattua tietoa asutuskuntien autonomistuksesta. Aineistossa on eritelty yhden auton omistavien, kahden tai useamman auton omistavien sekä autottomien asutuskuntien lukumäärä ja osuus kaikista asutuskunnista.	Autonomistukseen vaikuttavien tekijöiden laskeminen (autonomistusindikaattorit), luku 4.3.5; tulevaisuuden autonomistuksen estimointi, luku 4.3.6	SeutuCD'17 (Tilastokeskus 2013a)

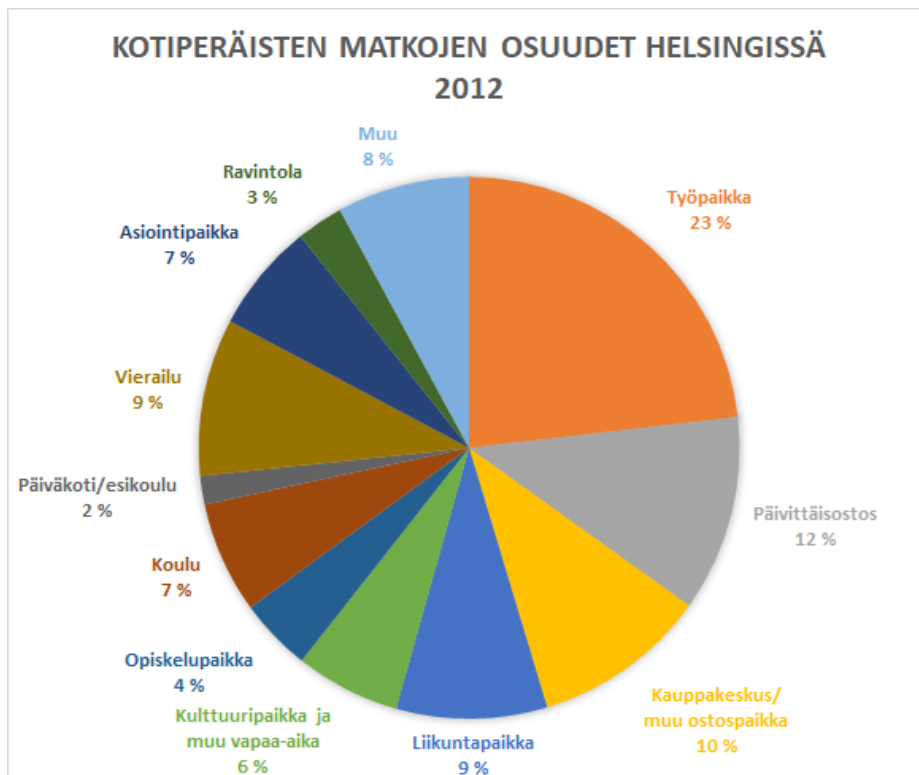
4.2.1 Liikkumistutkimusaineisto

Liikkumistutkimusaineisto on HSL:n keräämä Liikkumistottumukset Helsingin seudulla 2012 -kyselytutkimus (Lindeqvist et al. 2013), joka sisältää 5177 henkilön vastaukset heidän arkivuorokauden päivittäisestä liikkumisestaan vuonna 2012. Vastaajien joukosta 879:n henkilön kotikunta on Helsinki. Tämän pro gradun kannalta tärkein kyselytutkimuksesta saatava tieto oli jokaisen matkan kesto (minuuteissa), jonka pohjalta valittiin kutakin kohderyhmää parhaiten kuvaava saavutettavuuden impedanssifunktio. Lisäksi kyselytutkimus sisältää tietoa matkan tarkoituksesta, pääasiallisesta kulkutavasta ja matkan lähtö- ja määräpaikan kunnasta, joiden avulla voitiin tarkentaa impedanssifunktioita matkan tarkoituksen ja kulkutavan mukaan sekä rajata aineistosta Helsinkiin suuntautuvat tai Helsingistä lähtevät matkat.

HSL:n liikkumistutkimusaineiston kaikkien matkojen lukumäärä on yhteensä 17 592 matkaa. Aineiston tietoihin sisältyy henkilön ID-tunniste, asuinpaikan kuntakoodi, matkan järjestysnumero, lähtöpaikan kunta, lähtöpaikan tyyppi, määränpään kunta ja määränpään tyyppi, matkan pituus (km), matkan kesto (min), pääasiallinen kulkutapa sekä matkaryhmä. Näiden tietojen perusteella sisällytettiin aineistoon ainoastaan ne matkat, jotka lähtevät Helsingistä tai päättyvät Helsinkiin sekä joiden toinen pää on kotona. Aineistossa oli myös runsaasti kotoa kotiin suuntautuvia lenkkeily- ja kävelymatkoja, jotka suodatettiin aineistosta pois. Lisäksi aineistosta poistettiin ne matkat, joiden pituus on yli 100 kilometriä, sillä niiden ei katsottu edustavan päivittäistä liikkumista. Näin ollen saatiin varsinaiseksi tutkimusaineistoksi taulukko, joka sisältää Helsinkiin tai Helsingistä suuntautuvat yhden arkivuorokauden kotiperäiset matkat. Suodatettu taulukko sisältää yhteensä 815 henkilön päivittäiset matkat ja taulukon matkojen kokonaismäärä on 2293 matkaa. Täten keskimääräisten matkojen määrä per henkilö on noin 2,8 matkaa arkivuorokaudessa. Taulukosta laskettiin yhteen eri matkaryhmien osuudet Helsingissä, jotka on esitetty piirakkadiagrammin muodossa kuvassa 17.

Aineiston perusteella suurin yksittäinen kotiperäisten matkojen matkaryhmä Helsingissä on työmatkat, joita on noin 23 prosenttia kaikista matkoista. Havainto eroaa jonkin verran Liikenneviraston tekemästä vuoden 2016 koko maata koskevasta henkilöliikennetutkimuksesta, jonka mukaan Suomessa keskimäärin kotiperäisistä matkoista ainoastaan noin 19 prosenttia on työmatkoja (Liikennevirasto 2018: 45). Seuraavaksi yleisin

matkaryhmä on ostosmatkat, joita on noin 22 prosenttia matkoista. Ostosmatkat jaettiin vielä erikseen päivittäisostosmatkoihin (12 prosenttia matkoista) sekä kauppakeskus- tai muihin ostosmatkoihin (10 prosenttia), sillä niiden keskinäiset matkojen kestot erosivat huomattavasti toisistaan. Päivittäisostosmatkojen keskimääräinen kesto on noin 11 minuuttia, kun taas kauppakeskus- ja muiden ostosmatkojen keskimääräinen kesto on lähes tuplasti pidempi, 20 minuuttia. Vapaa-ajan matkojen osuus Helsingin kotiperäisistä matkoista on yhteensä noin 15 prosenttia. Nämä jaettiin vielä erikseen liikuntapaikkoihin suuntautuviin matkoihin (9 prosenttia) sekä kulttuuripaikkoihin ja muihin vapaa-ajan kohteisiin suuntautuviin matkoihin (6 prosenttia matkoista). Seuraavaksi yleisin matkaryhmä on vierailumatkat, joita on 9 prosenttia kotiperäisistä matkoista. Muut tässä tutkimuksessa huomioon otetut matkaryhmät ovat koulumatkat, opiskelumatkat, asiointimatkat, kyyditsemismatkat päiväkotiin tai esikouluun sekä ravintolamatkat. Yhteensä kaikki edellä mainitut matkaryhmät kattavat kaikkiaan 92 prosenttia kaikista kotiperäisistä matkoista. Täten näiden matkaryhmien yhteenlaskettujen osuuksien voidaan katsoa edustavan kokonaisvaltaisesti päivittäistä liikkumista eri kohteisiin. Jäljelle jäävät 8 prosenttia koostuvat muun muassa nouto/jättömatkoista, mökkimatkoista ja työasiointimatkoista, joita ei tässä tutkimuksessa otettu huomioon.



Kuva 17. Kotiperäisten matkojen osuudet Helsingissä vuonna 2012. Aineisto: HSL:n liikkumistutkimus 2012 (HSL 2013).

4.2.2 Maankäyttöaineisto

Tutkielmassa käytetty maankäyttöaineisto perustuu SeutuCD'13 ja SeutuCD'17 -aineistoihin sekä HELMET 3.0 maankäyttöennusteisiin. HELMET-aineisto sisältää väestö- ja työpaikkatiedot yhteensä 1918 pienalueen osalta, jotka sijoittuvat Helsingin seudun työssäkäyntialueen 29 kunnan alueelle. Pienalueista 901 aluetta sijaitsee pääkaupunkiseudun neljän kunnan alueella ja 381 aluetta Helsingissä. SeutuCD on Helsingin seudun ympäristöpalveluiden kerran vuodessa tuottama paikkatietoaineistokokoelma, joka sisältää pääkaupunkiseudun suunnittelua palvelevat rekisteri-, kartta- ja suunnitteluaineistot (HSY 2018). SeutuCD:n aineistokokoelmasta tässä tutkimuksessa on käytetty autonomistustietoja vuodelta 2013, rakennustietoja vuodelta 2013, väestötietoja vuosilta 2013 ja 2017, asemakaavojen rakennusmaavarantotietoja vuodelta 2013, tulotasotietoja vuodelta 2013, palvelupisteiden sijainteja vuodelta 2018 ja yritysten ja julkisyhteisöjen toimipaikkatietoja vuodelta 2015. Maankäyttöaineistojen kuvailut, käyttövaiheet ja lähdeviitteet on kuvattu taulukossa 7.

Autonomistustiedot sisältävät pääkaupunkiseudun perusalueittain summattua tietoa asutokuntien autonomistuksesta vuonna 2013. Aineisto sisältää tiedot yhden auton omistavien, kahden tai useamman auton omistavien sekä autottomien asutokuntien lukumääristä sekä osuuksista kaikista asutokunnista. Autonomistustiedoissa on ensisijaisesti auton haltija ja mikäli sitä ei löydy niin auton omistaja. Aineistossa on mukana kaikki rekisterissä ja yksityishenkilöiden hallinnassa tai omistuksessa olevat henkilöautot, pakettiautot, kuorma-autot ja erikoisautot. Aineisto sisältää myös väliaikaisesti liikennekäytöstä poistetut ajoneuvot sekä työsuhteautot (HSY 2018: 25-26). Aineiston tietojen mukaan autojen kokonaislukumäärä Helsingissä vuonna 2013 oli 186 495 autoa ja koko pääkaupunkiseudulla 380 662 autoa. Tilastokeskuksen PX-Web-tietokantojen ajoneuvokannan mukaan Helsingissä oli vuonna 2013 yhteensä 206 724 liikennekäytössä olevaa henkilöautoa. Mikäli otetaan PX-Web-tietokannan kaikki rekisterissä olevat (myös liikennekäytöstä poistetut) henkilöautot, pakettiautot, kuorma-autot ja erikoisautot huomioon, Helsingissä oli vuonna 2013 yhteensä 248 583 henkilöautoa, 28 568 pakettiautoa, 8090 kuorma-autoa ja 496 erikoisautoa, eli yhteensä 285 737 ajoneuvoa (Tilastokeskus 2018). Täten tässä tutkimuksessa käytetyn autonomistusaineiston autojen lukumäärä Helsingissä on 35 prosenttia pienempi kuin Tilastokeskuksen PX-Web-tietokantojen ajoneuvokannan lukumäärä. Osittain SeutuCD:n aineiston pienempi autojen määrä voi johtua siitä, että SeutuCD:n autonomistusaineisto ei

todennäköisesti sisällä yritysten omistuksessa olevia autoja, joille ei ole ilmoitettu haltijaa ajoneuvoliikennerekisteriin. Tutkimuksen alussa lokakuussa 2018 lähetettiin myös Liikenteen turvallisuusvirasto Trafille aineistopyyntö rakennuskohtaisen ajoneuvoliikennerekisterin tietojen luovutuksesta, mutta koska aineistopyyntöön ei saatu vastausta, päädyttiin käyttämään SeutuCD'17:n autonomistustietoja vuodelta 2013.

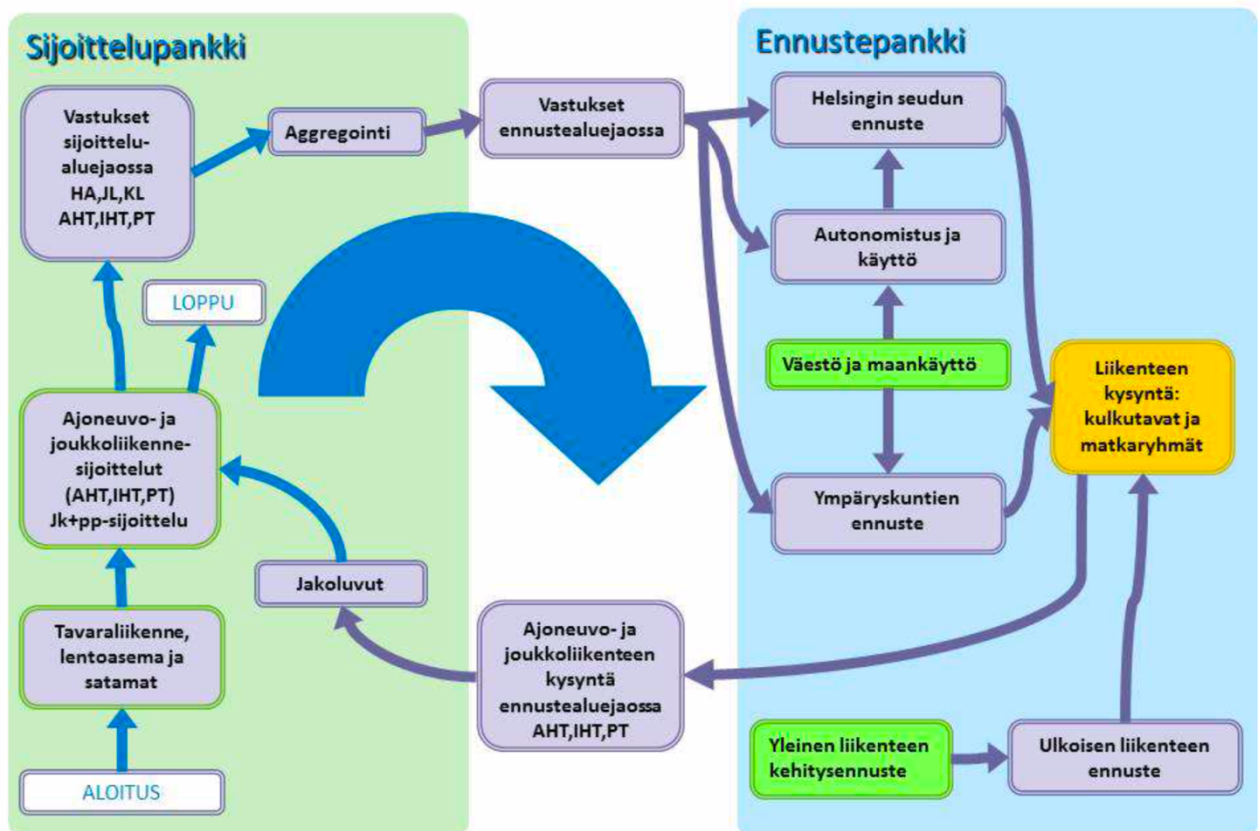
4.2.3 Matka-aikamatriisit

Tutkielman matka-aikamatriiseina on käytetty Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikenne-ennustejärjestelmän (HELMET 3.0) matka-aikamatriiseja (HSL 2018) sekä Helsingin yliopiston geotieteiden ja maantieteen laitoksen MetropAccess-tutkimusryhmän matka-aikamatriiseja 2013, 2015 ja 2018 (Toivonen et al. 2014b, 2015; Tenkanen et al. 2018). HELMET 3.0 liikenne-ennustejärjestelmä sisältää matka-ajat (autolla, julkisilla ja pyörällä) sekä väestön ja työpaikkojen sijoittumisen vuosille 2016, 2030 ja 2050. Helsingin seudun liikenne-ennustejärjestelmän lähtötiedot perustuvat HSL:n tekemään laajaan liikennetutkimukseen, jossa on saatu tietoa yli 20 000 pääkaupunkiseudun asukkaan päivittäisestä liikkumisesta. HELMET-malli on kuvattu kattavasti HSL:n raporteissa 21/2016 ja 22/2016 (Elolähde & Rätty 2016b, 2016a). HELMET 2030 -mallin joukkoliikenne- ja autoliikenneverkkojen tärkeimmät hankkeet on lueteltu taulukoissa 5 ja 6. Tulosten tarkastelussa on tärkeää huomioida, että nykyhetken HELMET-joukkoliikenneverkko vuodelta 2017 ei vielä sisällä länsimetroa välillä Ruoholahti-Matinkylä.

Liikenne-ennustemalli koostuu tarjontamallista ja kysyntämallista. Tarjontamalli sisältää tiedot liikenneverkosta ja joukkoliikennelinjastosta. Joukkoliikennelinjaston kuvaustapana on käytetty vuorovälipohjaista kuvaustapaa, jossa aamuhuipputunnin jokainen linja on kuvattu kerran ajosuuntaa kohti. Jokaisella linjalla on reitti ja mallin aikajakson keskimääräinen vuoroväli. Kysyntämalli sisältää alueparien väliset matkamäärät ja matkatuotosta, matkasuuntautumista ja kulkutavan valintaa kuvaavat mallit. Kysyntämallin estimointi on tehty perustuen liikkumistutkimusten aineistoon. Kun tarjontamallin liikenneverkkoa kuormitetaan kysyntämalleilla, on saatu tuloksena vastusmatriiseja, eli esimerkiksi matka-aikoja. HELMET-mallin matka-aikamatriisit on laskettu Emme-liikennesimulointiohjelmalla käyttäen joukkoliikenteen kuvaustapana vuorovälipohjaista kuvausta. Kuvassa 18 on esitetty HELMET-liikenne-ennustejärjestelmän toimintaperiaate.

Tässä tutkimuksessa käytetyt HELMET-matka-aikamatriisit sisältävät matka-aikatiedot joukkoliikenteelle, autoilulle ja pyöräilylle kaikkien pienalueiden välillä vuosina 2017 ja 2030. Matka-aikoina on käytetty alueelta lähteviä matka-aikoja, eli ulospäin suuntautuvaa saavutettavuutta, sillä on haluttu tarkastella kotiperäistä liikkumista, eli kuinka hyvin eri kohteet ovat saavutettavissa asukkaiden kodeista käsin. Matka-ajat perustuvat aamuruuhkan huipputuntiin kello 7 ja 9 välillä. Joukkoliikenteen matka-ajat sisältävät mahdollisen pysäkillä odottelun reitin alussa, eli toisin sanoen matkustaja lähtee sattumanvaraiseen aikaan joukkoliikennepysäkille kello 7 ja 9 välillä. Autoilun matka-ajat eivät alun perin sisältäneet pysäköintiin kuluvaan aikaan, minkä takia kaikkiin autoilun matka-aikoihin lisättiin manuaalisesti kaksi minuuttia, jotta matka-ajat olisivat realistisempia. Myöskään pyöräilyn matka-ajat eivät alun perin sisältäneet pyörän lukitsemiseen ja avaamiseen kuluvaan aikaan, minkä takia kaikkiin pyöräilyn matka-aikoihin lisättiin manuaalisesti yksi minuutti, joka kuluu pyörän avaamiseen (30 sekuntia) ja pyörän lukitsemiseen (30 sekuntia) matkan alku- ja loppupäässä.

Liikenne-ennustejärjestelmän periaate



Kuva 18. HELMET-liikenne-ennustejärjestelmän periaate (Elolähde and Rätty 2016a: 88).

4.3 Menetelmät

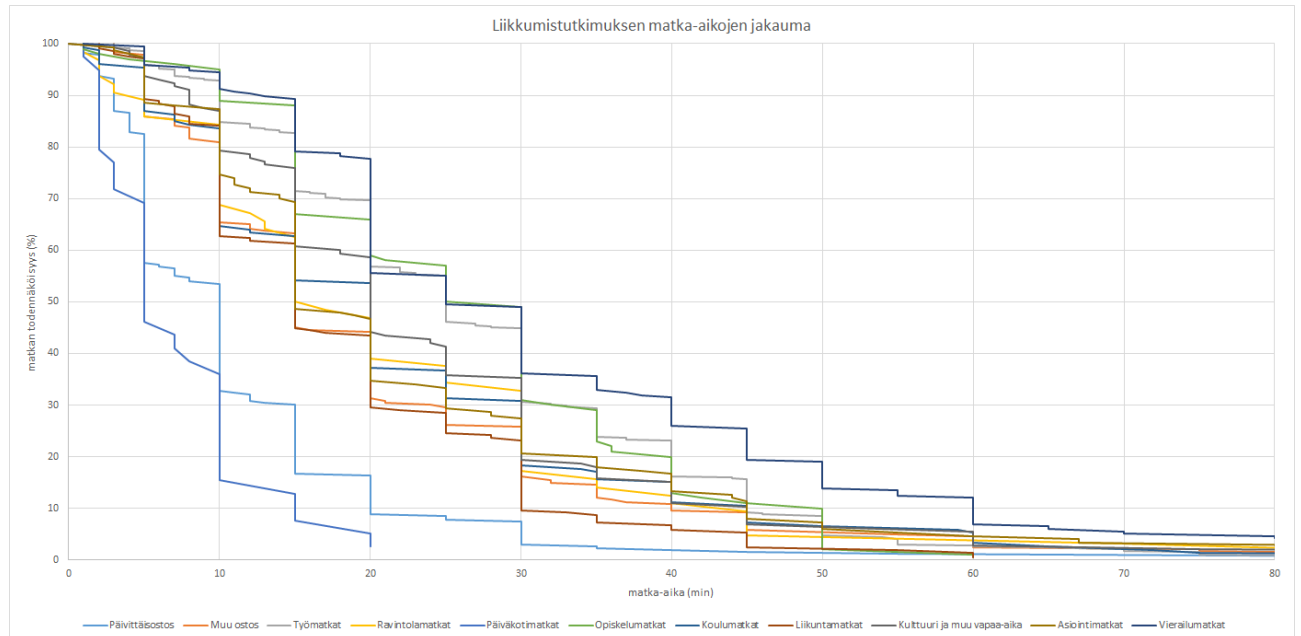
Taulukko 8. Tutkimuksessa käytetyt ohjelmistot.

Ohjelmisto	Kuvaus
Microsoft Excel 16.22	Taulukkolaskentaohjelma impedanssikäyrien ja graafien luontiin (luku 4.3.1).
QGIS 2.18.25 (open source)	Paikkatieto-ohjelmisto spatiaalisten analyysien suorittamiseen ja karttojen visualisointiin (luvut 4.3.2, 4.3.3, 4.3.5 ja 4.3.6).
Anaconda Spyder 3.2.4 (open source)	Ohjelmointiympäristö Python-skriptien luontiin ja saavutettavuusanalyysien laskemiseen (luvut 4.3.1, 4.3.3 ja 4.3.4).
IBM SPSS Statistics 25	Tilasto-ohjelmisto korrelaatioiden ja regressioanalyysien laskemiseen (luvut 4.3.4 – 4.3.6).

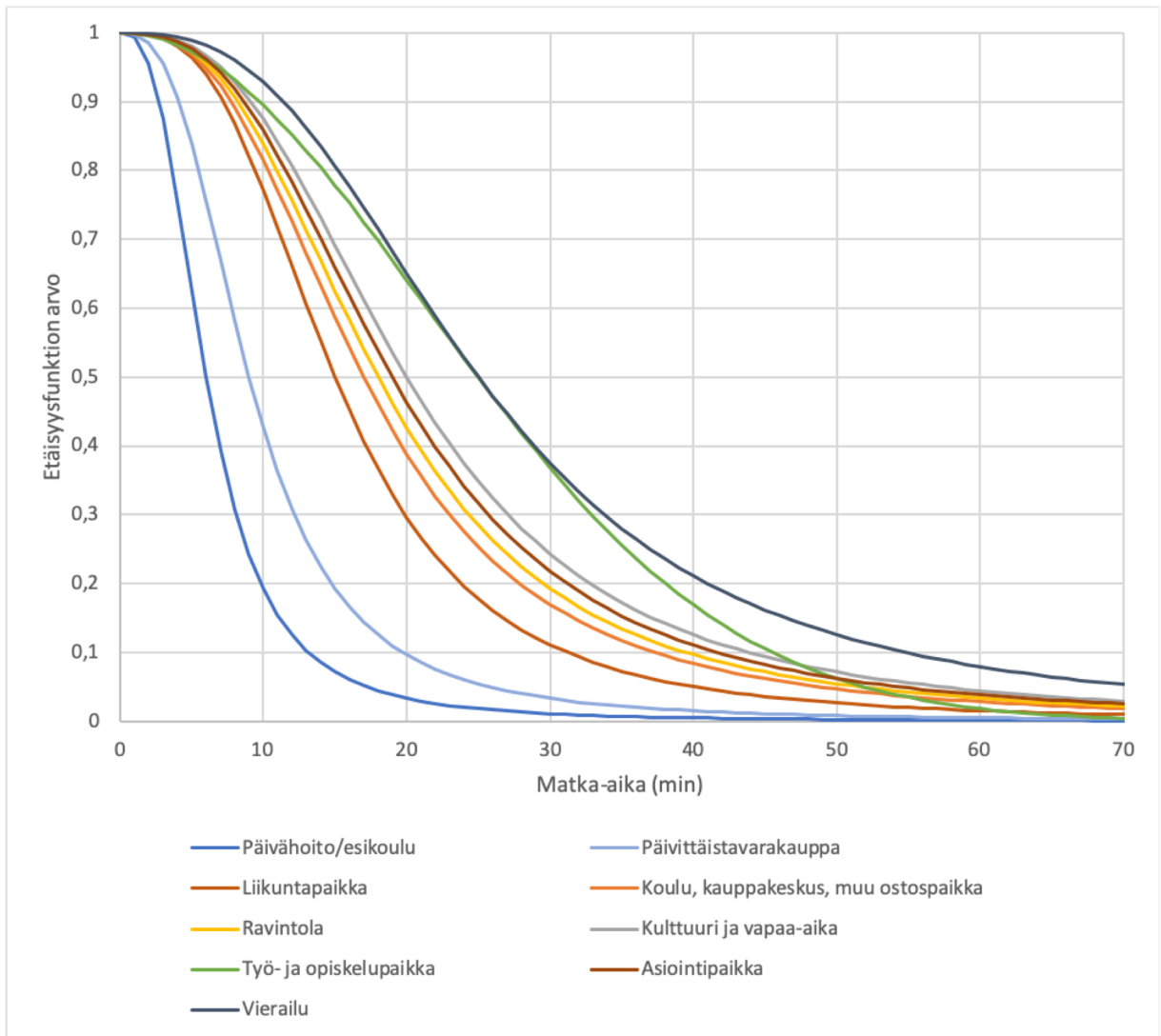
4.3.1 Impedanssifunktioiden määrittäminen

Kuten Geurs ja van Eck (2001) mainitsevat, eri impedanssifunktioiden väliset erot voivat vaikuttaa ratkaisevasti saavutettavuusanalyysien tuloksiin. Tämän takia on tärkeää valita sellainen impedanssifunktio, joka estimoii todellisia matka-aikoja mahdollisimman hyvin. Kuvassa 19 on esitetty HSL:n liikkumistutkimuksesta saatujen todellisten matka-aikojen kumulatiivinen jakauma matkaryhmittäin kotiperäisille Helsingistä tai Helsinkiin suuntautuville matkoille. Käyrien porrasmaisuus johtuu siitä, että moni liikkumistutkimukseen vastanneista on antanut vastauksissaan tasalukuja, kuten 10, 20 tai 30 minuuttia, minkä takia käyrät ”putoavat” niiden kohdalla alaspäin. Python 3.6 -ohjelmointikielen ja sen Pandas- ja Numpy-kirjastojen avulla laskettiin erilaisia impedanssifunktioita, jotka visualisoitiin käyttäen Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelmaa. Tämän jälkeen valittiin kullekin matkaryhmälle parhaiten sopiva impedanssifunktio kuvaamaan todellisten matka-aikojen kumulatiivista jakaumaa. Impedanssifunktioiden tyyppinä käytettiin muokattua Gaussin funktiota sekä log-logistista funktiota, sillä tutkimuskirjallisuuden ja havaintojen perusteella näiden muoto näytti parhaiten vastaavan todellisten matka-aikojen jakaumaa. Kunkin matkaryhmän

impedanssifunktion maksimiajaksi valittiin se matka-aika, jonka sisällä on 95 prosenttia matkaryhmän matka-ajoista. Kuvassa 20 on esitetty todellisiin matka-aikoihin parhaiten soveltuvien impedanssifunktioiden käyrät. Taulukkoon 9 on merkitty kunkin matkakohteen impedanssifunktiot ja niiden parametrit sekä matkakohteiden osuudet kaikista kotiperäisistä matkoista.



Kuva 19. Liikkumistutkimuksen matka-aikojen kumulatiivinen jakauma matkaryhmittäin. Aineisto: Helsingin liikkumistutkimus 2012 (HSL 2013).



Kuva 20. Todellisiin matka-aikoihin parhaiten soveltuvat impedanssikäyrät.

Taulukko 9. Helsingin kotiperäisten matkojen kohteet ja niiden impedanssifunktiot.

Matkakohde	Funktion tyyppi	Funktion parametrit	Matkakohteen osuus kaikista Helsingin kotiperäisistä matkoista, prosentteina (HSL 2013)
Työpaikka	Muokattu Gaussin funktio	z: 900 max: 70 min	23,2
Päivittäistavarakauppa	Log-logistinen funktio	a: 9 b: 2.8 max: 35 min	11,7
Kauppakeskus tai muu ostospaikka	Log-logistinen funktio	a: 17 b: 2.8 max: 75 min	10,5
Liikuntapaikka	Log-logistinen funktio	a: 15 b: 3.0 max: 50 min	9,0
Kulttuuripaikka tai muu vapaa-ajan kohde	Log-logistinen funktio	a: 20 b: 2.8 max: 60 min	6,3
Opiskelupaikka	Muokattu Gaussin funktio	z: 900 max: 60 min	4,4
Koulu	Log-logistinen funktio	a: 17 b: 2.8 max: 70 min	6,7
Päiväkoti tai esikoulu	Log-logistinen funktio	a: 6 b: 2.8 max: 20 min	1,7
Vierailupaikka	Log-logistinen funktio	a: 25 b: 2.8 max: 90 min	9,4
Asiointipaikka	Log-logistinen funktio	a: 19 b: 2.8 max: 70 min	6,5
Ravintola	Log-logistinen funktio	a: 18 b: 2.8 max: 50 min	2,8

4.3.2 Matkaryhmien maankäyttökohteiden määrittäminen

Helsingin kotiperäisten matkojen kohteet määritettiin SeutuCD'17:n aineistojen sekä HELMET 3.0 maankäyttöennusteiden avulla. Taulukossa 10 on esitetty maankäyttökohteiden aineistot. Väestön ja työpaikkojen määrät otettiin HELMET 3.0 -mallista, joka pohjautuu pienalueiden MAL 2019 -maankäyttöennusteisiin vuodelle 2030. Muissa matkakohteissa käytettiin mahdollisimman ajantasaista SeutuCD'17:n pistemuotoista paikkatietodataa, sillä niille ei ollut olemassa ennusteita vuodelle 2030. SeutuCD:n aineistoista käytettiin pääkaupungin palvelupisteaineistoa mallintamaan koulujen, päivähoitopaikkojen, esikoulujen ja liikuntapaikkojen sijainteja. Kulttuuripaikkojen ja muiden vapaa-ajan kohteiden mallintamisessa käytettiin SeutuCD:n Rakennukset sekä Yritykset ja toimipaikat -aineistoja. Muissa matkaryhmissä käytettiin Yritykset ja toimipaikat (YrTP ja JulkTP) -aineistoja, jotka luokiteltiin QGIS:n tietokantakyselyillä eri toimialoihin Tilastokeskuksen toimialaluokituksen (Tilastokeskus 2010) perusteella. Tämän jälkeen kaikkien matkaryhmien maankäyttökohteet summattiin HELMET 3.0 -pienaluejaon tasolle. Kohteet summattiin pääosin toimipaikkojen ja kohteiden lukumäärien perusteella, sillä vaikka oli selvää, että osalla kohteista on todellisuudessa suurempi painoarvo kuin toisilla (esimerkiksi päivittäistavarakauppojen tapauksessa suurella supermarketilla on luultavasti suurempi painoarvo kuin pienellä elintarvikekioskilla), oli niiden painottaminen esimerkiksi toimipaikan henkilöstömäärän perusteella hankalaa, sillä tällöin spatiaaliseen jakaumaan olisi vaikuttanut joillakin alueilla sijaitsevien pääkonttoreiden ja muiden hallinnollisten toimipaikkojen suuret henkilöstömäärät. Opiskelumatkakohteet summattiin koulutuspaikkojen työpaikkojen lukumäärän mukaan, sillä osa kampuksista oli jakautunut yksittäisiin rakennuspisteisiin, kun taas toiset (mm. Aalto-yliopiston Otaniemen kampus) oli merkitty yksittäisenä pisteenä. Tämän takia päätettiin summata koulutuspaikat niiden henkilöstömäärien mukaan, jotta maankäyttötaso kuvaisi paremmin opiskelupaikkojen todellisia suuruussuhteita. Lopuksi SeutuCD:n pienalueille summattuihin maankäyttökohteisiin lisättiin HELMET 3.0 -työpaikka- ja väestöennusteet, jolloin saatiin tuloksena kaikkien 11 matkakohteen maankäyttökohteiden sijainnit pienalueittain pääkaupunkiseudulla.

Taulukko 10. Vuoden 2030 kokonaissaavutettavuuden maankäyttökohteet.

Matkakohde	Aineisto	Aineiston vuosi	Kohteiden painotus
Työpaikka	HELMET 3.0: Työpaikkamäärät	2030	Työpaikkojen lukumäärä
Vierailupaikka	HELMET 3.0: Väestömäärät	2030	Väestön lukumäärä
Koulu	SeutuCD'17: Pääkaupunkiseudun palvelupisteet: 111 Perusopetus, 112 Lukio, 113 Ammatillinen opetus nuoret, 114 Aikuiskoulutus	2015	Toimipaikkojen lukumäärä
Ravintola	SeutuCD'17: YrTP ja JulkTP: Ravitsemistoiminta	2015	Toimipaikkojen lukumäärä
Päivähoito/esikoulu	SeutuCD'17: Pääkaupunkiseudun palvelupisteet: Esiopetus ja kunnalliset päiväkodit	2018	Kohteiden lukumäärä
Liikuntapaikka	SeutuCD'17: Pääkaupunkiseudun palvelupisteet: Ulkoliikuntapaikat ja sisäliikuntapaikat	2018	Kohteiden lukumäärä
Kulttuuripaikka/muu vapaa-aika	SeutuCD'17: Rakennukset: 311 Teatterit, konsertti- ja kongressitalot, oopperat, 312 Elokuvateatterit, 322 Kirjastot, 323 Museot, taidegalleriat, 324 Näyttelyhallit, 341 Kirkot, kappelit, luostarit, rukoushuoneet, 342 Seurakuntatalot, 349 Muut uskonnollisten yhteisöjen rakennukset SeutuCD'17: JulkTP: 59140 Elokuvien esittäminen, 90010 Esittävät taiteet, 90040 Taidelaitosten toiminta, 91010 Kirjastojen ja arkistojen toiminta, 91020 Museoiden toiminta, 91030 Historiallisten nähtävyyksien, rakennusten ja vastaavien kohteiden toiminta, 91040 Kasvitieteellisten puutarhojen, eläintarhojen ja luonnonpuistojen toiminta SeutuCD'17: YrTP: 59140 Elokuvien esittäminen, 85520 Taiteen ja musiikin koulutus, 85530 Kuljettajakoulutus, 91020 Museoiden toiminta	2017 2015	Toimipaikkojen lukumäärä
Opiskelupaikka/avoin AMK/kansanopisto	SeutuCD'17: YrTP ja JulkTP: 854 Korkea-asteen koulutuspaikat ja 85591 kansanopistot	2015	Toimipaikan työpaikkojen lukumäärä
Päivittäisosostus	SeutuCD'17: YrTP: 471 Vähittäiskauppa erikoistumattomissa myymälöissä sekä 472 elintarvikkeiden, juomien ja tupakan vähittäiskauppa erikoismyymälöissä	2015	Toimipaikkojen lukumäärä
Kauppakeskus/muu ostospaikka	SeutuCD'17: YrTP: 47 Vähittäiskauppa (pl. päivittäisosostus)	2015	Toimipaikkojen lukumäärä
Asiointipaikka	SeutuCD'17: JulkTP ja YrTP: 53100 Postin yleistoiminta, 641 Pankkitoiminta, 78100 Julkinen työnvälitystoiminta, 86210 Terveyskeskus- ja vastaavat yleislääkäripalvelut	2015	Toimipaikkojen lukumäärä

4.3.3 Kokonaissaavutettavuuden laskeminen

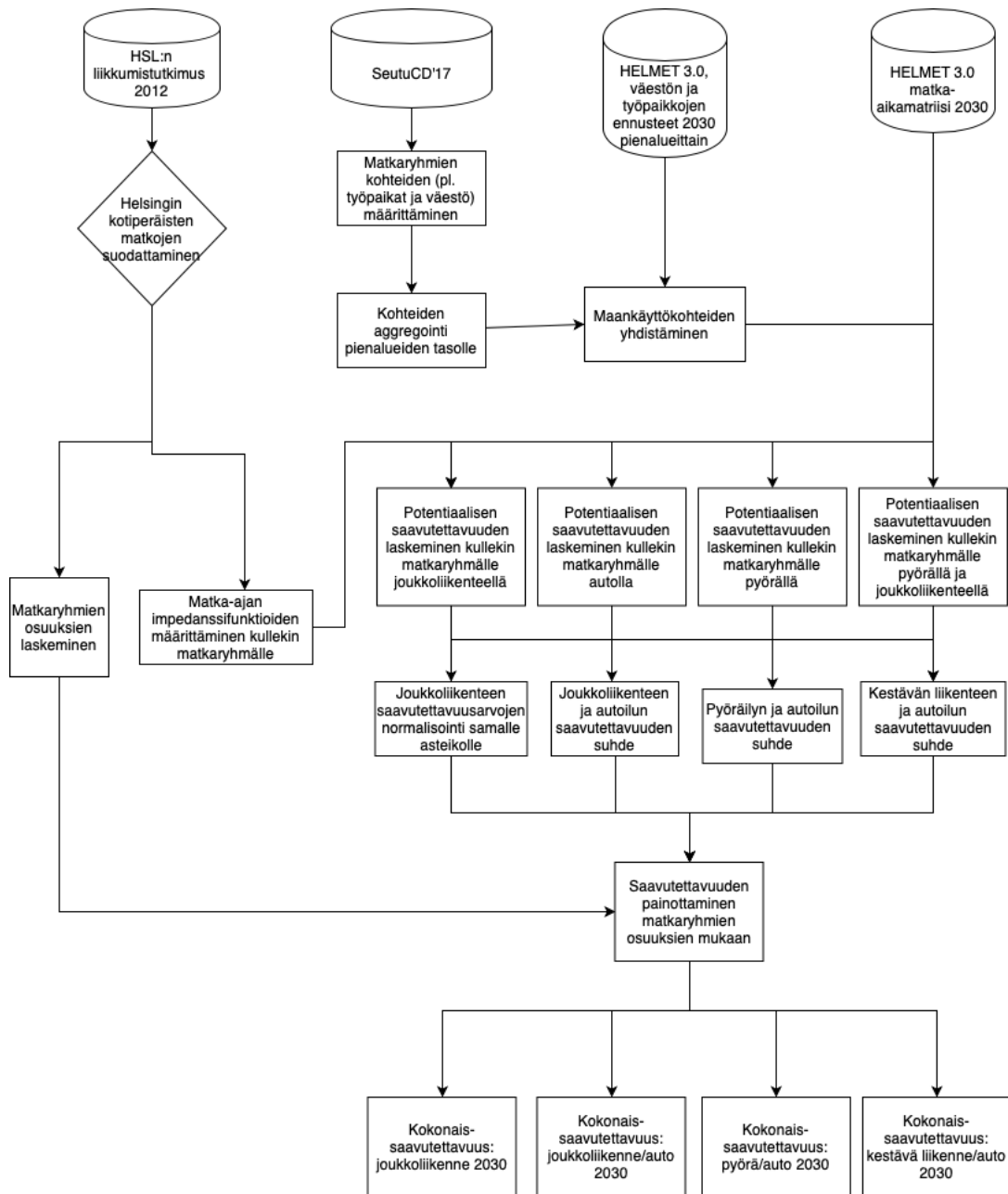
Kuvassa 22 on esitetty vuokaavio vuoden 2030 kokonaissaavutettavuuden laskemisen työvaiheista. Impedanssifunktioiden ja matkaryhmien maankäyttökohteiden määrittämisen jälkeen potentiaalinen saavutettavuus laskettiin kullekin matkaryhmälle Anaconda Spyder -ohjelmointiympäristössä Python-ohjelmointikielen ja sen Pandas-kirjaston avulla. Pandas-kirjaston avulla yhdistettiin Python-ohjelmointiympäristössä joukkoliikenteen HELMET 3.0 -matka-aikamatriisi ja maankäyttökohteet. Tämän jälkeen käytiin läpi toistolausekkeen avulla jokaiselta alueelta lähtevät matka-ajat ja laskettiin kullakin matka-aikaetäisyydellä olevien kohteiden lukumäärä ja painotettiin niitä matka-ajan impedanssifunktion arvojen mukaisesti. Liitteessä 1 on esitetty potentiaalisen saavutettavuuden laskeva Python-komentosarja. Lopuksi summattiin kultakin alueelta saavutettavat kohteet yhteen, jolloin saatiin tuloksena kunkin alueen potentiaalinen saavutettavuus. Tämä prosessi toistettiin kaikille 11 matkaryhmälle erikseen kunkin matkaryhmän impedanssifunktion avulla. Tämän jälkeen kunkin matkaryhmän kohteiden saamat potentiaalisen saavutettavuuden arvot normalisoitiin asteikolle nollasta sataan, jonka jälkeen matkaryhmien normalisoituja saavutettavuusarvoja painotettiin matkaryhmien osuuksien (kuva 17) mukaan. Lopuksi laskettiin matkaryhmien osuuksien mukaan painotetut saavutettavuusarvot yhteen, jolloin saatiin tulokseksi joukkoliikenteen kokonaissaavutettavuus kaikkiin kohteisiin. Kuvassa 26 on esitetty joukkoliikenteen kokonaissaavutettavuus vuonna 2030.

Kokonaissaavutettavuus laskettiin myös jakamalla joukkoliikenteellä, pyörällä ja kestävillä liikennemuodoilla saavutettavat kohteet autolla saavutettavista kohteista. Kestävillä liikennemuodoilla tarkoitetaan tässä yhteydessä joukkoliikennettä ja pyöräilyä. Kestävän liikenteen saavutettavuus laskettiin yhdistämällä pyöräilyn ja joukkoliikenteen matka-ajat maankäyttötietoihin, jonka jälkeen sijoitettiin toistolausekkeeseen SQL-kysely, joka valitsi aina nopeamman kulkumuodon matka-ajat, mutta jossa kuitenkin huolehdittiin siitä, ettei alueita valittu kahteen kertaan (kuva 21).

```
pop = merged.loc[(merged[column] >= value) & (merged[column+'p'] >= value) &
                  ((merged[column] < value+1) | (merged[column+'p'] < value+1))]
```

Kuva 21. Kestävän liikenteen matka-aikojen valinnassa käytetty SQL-kysely. P-kirjaimella on erotettu pyöräilyn matka-aikasarakkeet joukkoliikenteen matka-aikasarakkeista.

Koska joukkoliikenteen, pyöräilyn ja kestävän liikenteen saamat saavutettavuusarvot jaettiin suoraan autoilun saavutettavuusarvoilla, matkaryhmien tuloksia ei ollut tarpeen normalisoida, vaan voitiin suoraan painottaa suhteellisia saavutettavuusarvoja matkaryhmien osuuksilla. Tämän jälkeen painotetut arvot laskettiin yhteen, jolloin saatiin tuloksena kokonaissaavutettavuus joukkoliikenteellä suhteessa autoiluun (kuva 27), kokonaissaavutettavuus pyörällä suhteessa autoiluun (kuva 28) ja kokonaissaavutettavuus kestävällä liikenteellä suhteessa autoiluun (kuva 29).



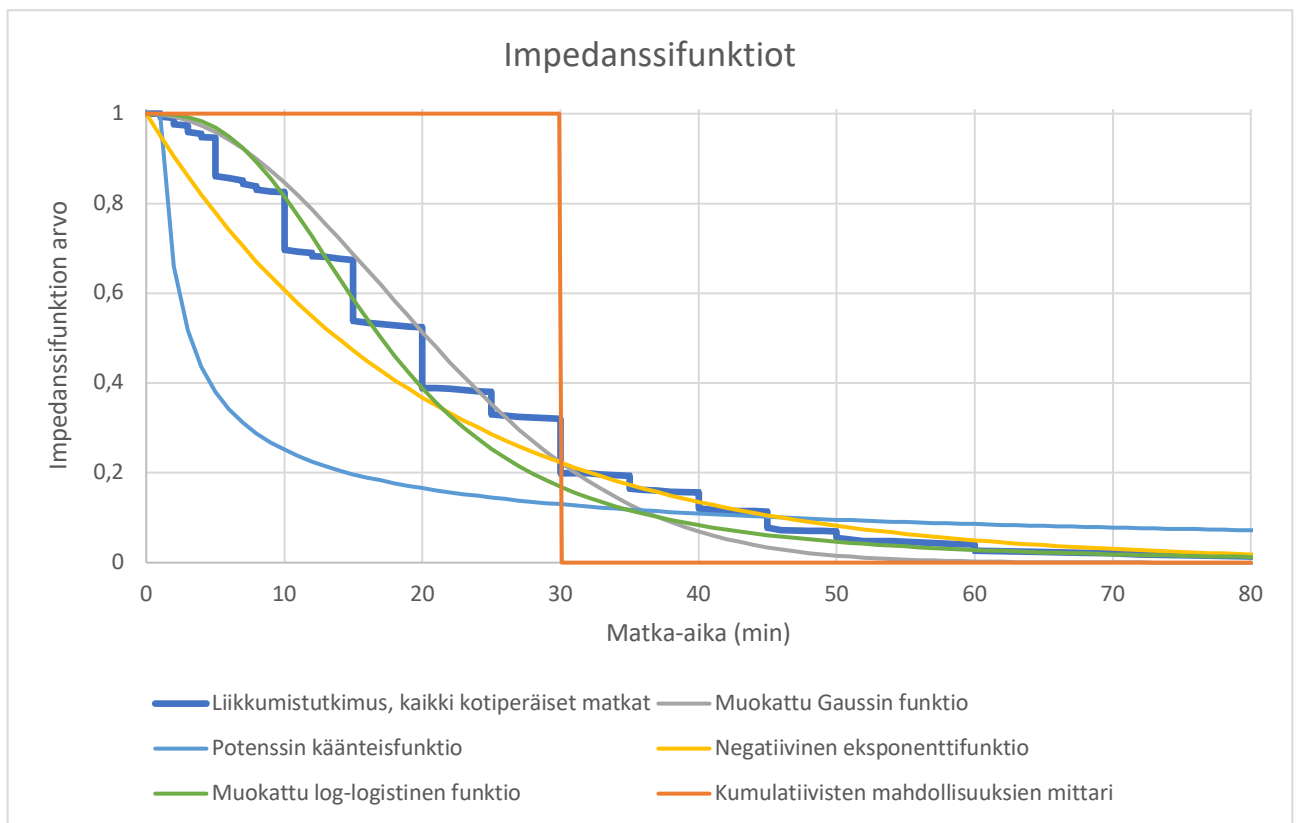
Kuva 22. Kokonaissaavutettavuuden laskeminen.

4.3.4 Yksinkertaistetun kokonaissaavutettavuusmittarin valinta

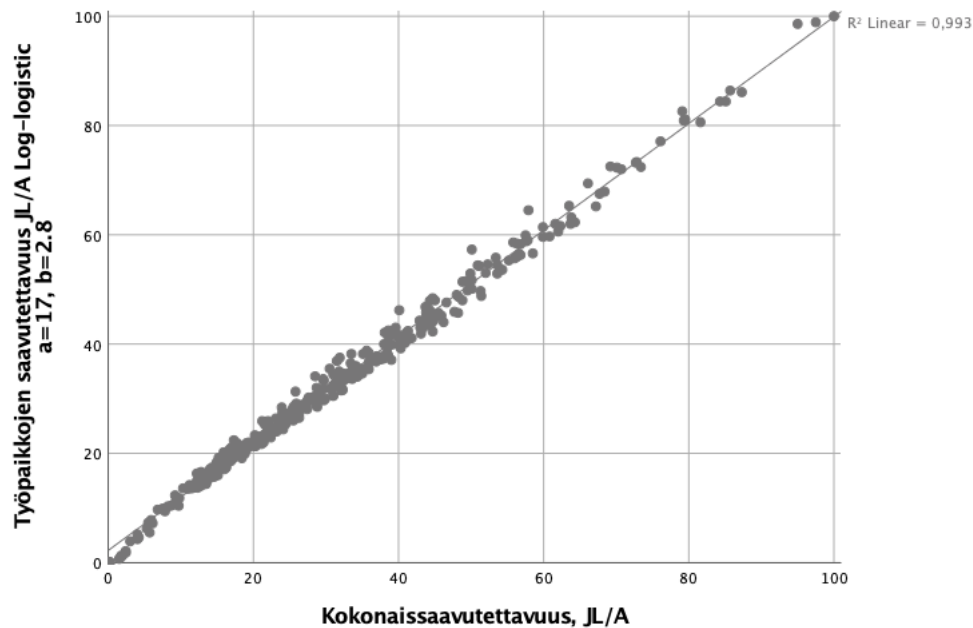
Kokonaissaavutettavuuden laskemisprosessin monivaiheisuuden ja työläyden takia tutkimuksen aikana heräsi myös kysymys, voisiko samankaltaiseen lopputulokseen päästä myös pienemmällä vaivalla, jotta tutkimuksen tulos olisi helpommin toistettavissa. Tämän takia pyrittiin löytämään yksittäinen impedanssifunktio, joka mallintaisi mahdollisimman hyvin kaikkien kotiperäisten matka-aikojen kumulatiivista jakaumaa. Kuvassa 23 on esitetty paksulla sinisellä viivalla kaikkien Helsingin kotiperäisten matkojen kumulatiivinen jakauma, jonka lisäksi kuvaan on lisätty neljä erilaista potentiaalisen saavutettavuuden impedanssifunktiota: potenssin käänteisfunktio, negatiivinen eksponenttifunktio, muokattu Gaussin funktio sekä muokattu log-logistinen funktio. Impedanssifunktiolle pyrittiin valitsemaan sellaiset parametrit, että funktioiden käyrät osuisivat mahdollisimman lähelle liikkumistutkimuksen kotiperäisten matkojen kumulatiivista jakaumaa. Potenssin käänteisfunktion s-parametri on 0,6, negatiivisen eksponenttifunktion beta-parametri on 0,05, muokatun Gaussin funktion z-parametri on 600 ja log-logistisen funktion a-parametri on 17 ja b-parametri 2,8. Impedanssifunktioiden lisäksi kuvaan on myös lisätty oranssilla viivalla kumulatiivisen mahdollisuuksien mittari, jossa raja-arvona on käytetty 30 minuutin matka-aikaa. Kuvan perusteella voidaan havaita, että sekä negatiivinen eksponenttifunktio, muokattu Gaussin funktio, että muokattu log-logistinen funktio osuvat melko hyvin yhteen matka-aikojen kumulatiivisen jakauman kanssa. Ainoastaan potenssin käänteisfunktio on selvästi erilainen, sillä sen käyrä laskee hyvin jyrkästi alaspäin pienillä matka-ajoilla. Havaintojen perusteella näistä impedanssifunktioista päädyttiin valitsemaan muokattu log-logistinen funktio parametreilla a: 17 ja b: 2,8 (merkitty vihreällä käyrällä), sillä sen arvot eivät pienene liian nopeasti lyhyillä etäisyyksillä ja toisaalta sen arvot pysyvät pitkillä etäisyyksillä hyvin lähellä liikkumistutkimuksen todellisten matka-aikojen jakaumaa.

Impedanssifunktion soveltuvuuden testaamiseksi laskettiin työpaikkojen saavutettavuus joukkoliikenteellä suhteessa autoiluun käyttäen impedanssifunktiona edellä mainittua log-logistista funktiota parametreilla a: 17 ja b: 2,8 ja verrattiin tulosta kappaleessa 5.3 esiteltyyn kokonaissaavutettavuuteen joukkoliikenteellä suhteessa autoiluun. Log-logistisen funktion työpaikkasaavutettavuus normalisoitiin asteikolle nollasta sataan, jotta saavutettavuusmittarit olisivat mahdollisimman vertailukelpoisia keskenään. Tämän jälkeen muodostettiin hajontakuviot SPSS-tilasto-ohjelmalla ja laskettiin muuttujien välille korrelaatiokäyrä ja selitysaste. Hajontakuviossa kuvassa 24 on vaaka-akselilla kokonaissaavutettavuus

joukkoliikenteellä suhteessa autoiluun ja pystyakselilla työpaikkojen saavutettavuus joukkoliikenteellä suhteessa autoiluun käyttäen log-logistista funktiota impedanssina. Kuvan perusteella voidaan havaita, että saavutettavuusarvot täsmäävät toisiinsa lähes identtisesti. Pearson-korrelaatio näiden kahden muuttujan välillä on 0,997 ja selitysaste R^2 on täten 99,3 prosenttia, minkä perusteella voidaan todeta, että kyseisellä log-logistisella funktiolla voidaan mallintaa kokonaissaavutettavuutta riittävän hyvin. Liitteissä 12-23 on esitetty log-logistisella impedanssifunktiolla laskettu potentiaalinen työpaikkasaavutettavuus joukkoliikenteellä, polkupyörällä, kestävillä kulkumuodoilla (joukkoliikenne ja pyörä) sekä autolla vuosina 2017 ja 2030. Potentiaaliset saavutettavuusarvot on normalisoitu asteikolle 0-100 siten, että korkein työpaikkasaavutettavuusarvo autolla sai arvon 100 ja asteikon arvot luokiteltu saavutettavuusarvojen mukaan sinisestä punaiseen. Lisäksi liitteissä 24-29 on esitetty log-logistisella impedanssifunktiolla laskettu työpaikkasaavutettavuus joukkoliikenteellä ja kestävillä liikkumismuodoilla suhteessa autoiluun vuosina 2017 ja 2030.



Kuva 23. Liikkumistutkimuksen kaikki Helsingin kotiperäiset matkat ja impedanssifunktioiden vertailu.



Kuva 24. Hajontakuvio kokonaissaavutettavuuden ja yksinkertaistetun kokonaissaavutettavuusmittarin suhteesta.

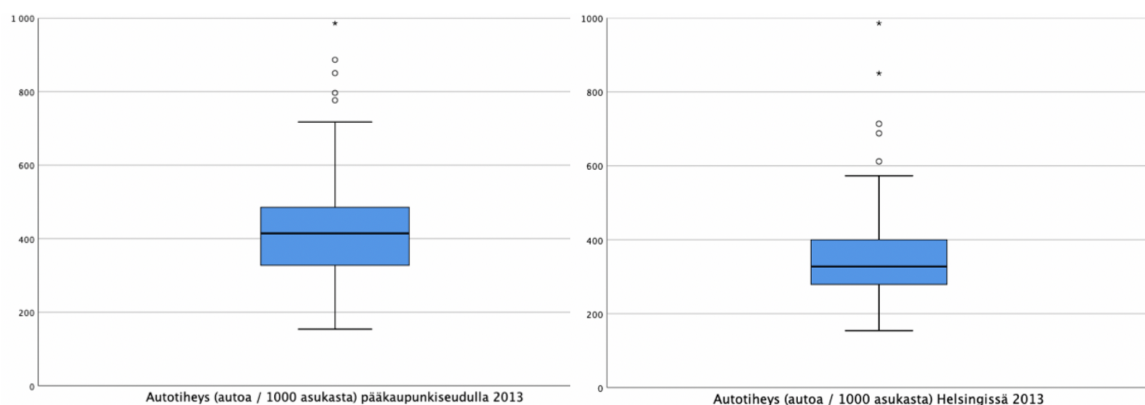
4.3.5 Autonomistukseen vaikuttavien tekijöiden laskeminen

Tutkimuksessa laskettiin eri muuttujien vaikutuksia autonomistukseen pääkaupunkiseudulla perusalueittain korrelaatioanalyysin avulla. Tavoitteena oli saada selville, millä muuttujalla on suurin vaikutus autonomistukseen pääkaupunkiseudulla. Analyysin selittävät muuttujat ovat autotiheys (autoa per 1000 asukasta), autottomien asuntokuntien prosenttiosuus kaikista asuntokunnista, kahden tai useamman auton asuntokuntien prosenttiosuus kaikista asuntokunnista, autojen määrä per asuntokunta sekä asuinkerrosalan suhde autojen määrään (km^2/auto). Autotiheys laskettiin kaavalla $\text{autotiheys} = \text{autojen määrä} \div \text{väestön määrä} \times 1000$. Autojen määrä sekä väestön määrä perustuvat vuoden 2013 tietoihin. Autojen lukumäärä saatiin SeutuCD'17:n autonomistustietokannasta, jossa on eritelty perusalueittain yhden auton sekä kahden tai useamman auton omistavien asuntokuntien lukumäärät (Tilastokeskus 2013a). Kahden tai useamman auton asuntokuntien todellinen autojen lukumäärä saatiin kertomalla niiden asuntokuntien lukumäärä luvulla 2,334074, joka vastaa HSL:n liikkumistutkimuksen mukaan kahden tai useamman auton asuntokuntien keskimääräistä autojen lukumäärää (Elolähde & Rätty 2016a: 71). Täten autojen lukumäärä perusalueittain saatiin kaavalla:

autojen määrä = 1 × yhden auton asuntokuntien lukumäärä + 2,334074 × kahden tai useamman auton asuntokuntien lukumäärä.

Autotiheys-muuttujan tiedoista poistettiin ne tietueet, joissa väestön määrä on alle 30 asukasta, sillä sitä pienempää väestön määrää ei enää pidetty tilastollisesti luotettavana. Kuvassa 25 on havainnollistettu perusalueiden autotiheyden jakauma Helsingissä ja pääkaupunkiseudulla vuonna 2013. Helsingissä keskimääräinen autotiheys vuonna 2013 on aineiston mukaan 316 autoa per 1000 asukasta ja pääkaupunkiseudulla 362 autoa per 1000 asukasta.

Autottomien ja kahden tai useamman auton asuntokuntien prosenttiosuudet kaikista asuntokunnista sekä autojen määrä per asuntokunta vuonna 2013 saatiin suoraan SeutuCD'17:n autonomistustiedoista (Tilastokeskus 2013a). Tilastollisen luotettavuuden takia näiden muuttujien tiedoista poistettiin ne havainnot, joissa on alle 20 asuntokuntaa. Edellä mainittujen muuttujien lisäksi valittiin vielä selitettäväksi muuttujaksi asuinkerrosala per auto, sillä sitä käytetään yleisesti autopaikkatarpeen esittämisessä autopaikkanormeissa. Asuinkerrosala per auto laskettiin jakamalla SeutuRAMAVA 2013 -aineistosta (HSY & Pääkaupunkiseudun kunnat 2013) saatu asuinkerrosala autojen määrällä. Asuinkerrosala laskettiin kaavalla $\text{asuinkerrosala} = \text{KARA_AS} - \text{RAKERA_AS}$, jossa KARA_AS tarkoittaa kaavayksiköiden käyttöönotettua asumisen kerrosalaa, johon on huomioitu sekä valmiit että rakennusluvan saaneet kohteet ja RAKERA_AS rakenteilla olevaa asumisen kerrosalaa. Asuinkerrosala per auto -muuttujan tiedoista poistettiin ne arvot, joissa asuinkerrosala oli alle 1000 k-m², sillä niiden ei katsottu olevan tilastollisesti tarpeeksi luotettavia. Liitteissä 39-43 on esitetty kartat autotiheyden, autottomien asuntokuntien osuuden, kahden tai useamman auton asuntokuntien osuuden, autojen määrän per asuntokunta ja kerrosalan per auto jakaumista.



Kuva 25. Perusalueiden autotiheyden jakauma pääkaupunkiseudulla ja Helsingissä vuonna 2013.

Korrelaatioanalyysin selittäviksi muuttujiksi valittiin keskitulo, asukastiheys, asuntokuntien keskikoko, asumisväljyys, kerrostalojen osuus asuinkerrosalasta, pientalojen osuus asuinkerrosalasta sekä alle 15-vuotiaiden osuus kaikista asukkaista. Lisäksi selittäviksi muuttujiksi otettiin aiemmissa luvuissa esiteltyjä saavutettavuusmittareita, joiden matka-aika-aineistoina käytettiin HELMET 2017-ennustemallia sekä Helsingin yliopiston MetropAccess matka-aikamatriiseja vuosilta 2013, 2015 ja 2018. Keskitulo saatiin SeutuCD'13:n tulotasotietokannasta (Tilastokeskus 2013b), jossa on perusalueittain Helsingin, Espoon ja Vantaan 15 vuotta täyttäneen väestön keskimääräiset valtionveronalaiset tulot. Asukastiheys laskettiin perusalueittain summaamalla asukkaiden lukumäärä vuonna 2013 ja jakamalla väestön määrä perusalueiden pinta-aloilla, joista vähennettiin ensin merialueiden, jokien ja järvien vesipinta-alat. Asuntokuntien keskikoko laskettiin jakamalla perusalueiden vuoden 2013 väestön määrä vuoden 2013 asuntojen lukumäärällä. Väestön määrä saatiin SeutuCD'13:n väestötietokannasta (Väestörekisterikeskus 2013) ja asuntojen lukumäärät SeutuCD'13:n rakennustietokannasta (Pääkaupunkiseudun kunnat 2013). Asuntokuntien keskikoko -muuttujan tietoihin sisällytettiin vain ne alueet, joissa oli vähintään 30 asukasta. Perusalueiden asumisväljyys laskettiin jakamalla SeutuCD'13:n rakennustietokannan asuinhuoneistojen pinta-alan summa väestötietokannan asukkaiden määrällä vuonna 2013. Kerrostalojen ja pientalojen kerrosalojen osuudet alueiden koko asuinkerrosalasta saatiin vuoden 2013 SeutuRAMAVA-aineistosta. Rakennukset luokiteltiin rakennusmaavarantojen yleistetyn käyttötarkoituksen mukaan asuinpientaloihin ja asuinkerrostaloihin, minkä jälkeen laskettiin kerrostalojen ja pientalojen asuinkerrosalojen osuudet alueiden koko asuinkerrosalasta. Alle 15-vuotiaiden osuudet kaikista asukkaista laskettiin summaamalla ensin rakennuskohtaisen väestötietokannan 0-14-vuotiaiden asukkaiden lukumäärät yhteen, jonka jälkeen luvut summattiin perusalueiden tasolle ja laskettiin alle 15-vuotiaiden perusaluekohtaiset prosenttiosuudet kaikista asukkaista. Liitteissä 32-38 on esitetty karttojen muodossa keskitulon, väestötiheyden, asumisväljyyden, asuntokuntien keskikoon, pientalojen osuuden, kerrostalojen osuuden ja alle 15-vuotiaiden osuuden vaihtelu pääkaupunkiseudun perusalueilla.

Autonomistusta selittävänä saavutettavuusmittarina käytettiin kappaleessa 5.5 esitellyllä log-logistisella funktiolla (a: 17 ja b: 2,8) painotettua potentiaalista työpaikkasaavutettavuutta, joka mallintaa parhaiten kaikkien matkaryhmien kokonaissaavutettavuutta. Saavutettavuuden matka-aika-aineistona käytettiin HELMET 2017-matka-aikamatriiseja, joiden

maankäyttökohteina käytettiin vuoden 2017 työpaikkoja. Lisäksi saavutettavuusmallit tehtiin myös käyttäen Helsingin yliopiston MetropAccess 2013, 2015 ja 2018 matka-aikamatriiseja, joiden maankäyttöaineistona käytettiin SeutuCD'17:n yritys- ja toimipaikkarekisteristä saatuja työpaikkojen määriä vuonna 2015. MetropAccess-mallien 250 metrin ruudut ja HELMET-mallien pienalueet yleistettiin tämän jälkeen pääkaupunkiseudun perusalueiden tasolle, laskemalla kullekin perusalueelle osuvien alueiden saavutettavuusarvojen keskiarvo. Liitteessä 31 on esitetty kartta joukkoliikenteen työpaikkasaavutettavuuden suhteesta autoiluun vuonna 2013 käyttäen MetropAccess-matka-aikamatriiseja.

4.3.6 Tulevaisuuden autopaikkatarpeen estimointi

Tulevaisuuden autopaikkatarve estimoitiin laskemalla ensin vuoden 2017 HELMET-saavutettavuusmallien ja vuoden 2013 autonomistusindikaattorien väliset yhteydet. Muuttujien välistä riippuvuutta kuvaamaan muodostettiin hajontakuviot, jossa y-akselilla on autonomistuinidikaattori ja x-akselilla saavutettavuusmalli. Tämän jälkeen laskettiin muuttujien välille lineaarinen regressioyhtälö ja regressiosuora. Lopuksi regressioyhtälö sijoitettiin vuoden 2030 työpaikkasaavutettavuuden arvoihin, jolloin saatiin tuloksena ennuste vuoden 2030 autonomistuksesta. Malleja tulkittaessa on huomioitava, että mallit olettavat autonomistuksen ja saavutettavuuden välisen suhteen pysyvän myös tulevaisuudessa samana kuin nykyhetkenä. Lisäksi on tärkeää huomioida mallien selitysaste, joka kertoo, kuinka suuren osan autonomistuksen vaihtelusta saavutettavuusindikaattori pystyy selittämään.

Tulevaisuuden autopaikkatarve estimoitiin myös laskemalla usean muuttujan lineaarinen regressiomalli. Selittävinä muuttujina käytettiin väestötiheyttä ja saavutettavuusindikaattoreita. Väestötiheys valittiin saavutettavuusindikaattoreiden lisäksi, koska väestön määrästä pienalueittain on tietoa sekä nykyhetkelle että HELMET 3.0 -mallin ennusteena vuodelle 2030. Regressiomallin selittävänä tekijänä testattiin myös työpaikkatiheyttä neliökilometriä kohti. Työpaikkatiheys paransi joidenkin regressiomallien selitystasetta, mutta se päätettiin kuitenkin jättää malleista pois, sillä sen merkitsevyystaso oli heikko, eikä muuttujan korrelaatio ollut 95 prosentin varmuudella nollasta poikkeava. Selitettävänä muuttujana käytettiin autonomistuksen indikaattoreita (asuntokuntien lukumäärä per auto, kerrosala per auto ja asukkaiden lukumäärä per auto). Nykyhetken väestötiheys laskettiin jakamalla perusalueiden väestömäärä vuonna 2013 perusalueiden maapinta-alalla. Vuoden 2013 väestömäärä saatiin SeutuCD'13:n

rakennuskohtaisesta väestötietokannasta (Väestörekisterikeskus 2013). Vuoden 2030 väestötiheys laskettiin samaan tapaan, mutta aluejakona käytettiin HELMET-pienalueita ja väestötietona HELMET 3.0 -mallin väestöennusteita pienalueittain vuonna 2030. Saavutettavuusindikaattoreina käytettiin vuoden 2017 HELMET-mallien potentiaalisia saavutettavuusmittareita eri kulkumuodoilla, joista valittiin lopulta ne, joiden selitysaste autonomistuksen mallintamisessa oli korkein. Saavutettavuusindikaattorit laskettiin käyttäen luvussa 4.3.4 kuvattua log-logistista funktiota potentiaalisen saavutettavuuden impedanssina, jonka maankäyttökohteina käytettiin työpaikkojen lukumäärää. Kulkumuotoina käytettiin joukkoliikenteen, polkupyöräilyn, joukkoliikenteen ja autoilun suhteen, polkupyöräilyn ja autoilun suhteen sekä kestävän liikenteen ja autoilun suhteen saavutettavuutta.

Saavutettavuusindikaattorit laskettiin HELMET-malleilla kaikista pienalueista kaikkiin pienalueisiin, minkä jälkeen tuloksena saadut pienalueet muutettiin keskipisteiksi, jotta ne voitiin aggregoida perusalueiden aluejakoon laskemalla kunkin perusalueen sisälle osuvien pisteiden saavutettavuuden keskiarvo. Perusaluekohtaisten saavutettavuusmittareiden, väestötiheyden ja autonomistusindikaattorien välille muodostettiin usean muuttujan lineaariset regressiomallit, jotka on esitetty taulukoissa 12-14. Lopuksi regressioyhtälöt sijoitettiin vuoden 2030 pienaluekohtaisiin HELMET-ennustemalleihin siten, että tuntemattomien muuttujien tilalle sijoitettiin vuoden 2030 asukastiheys- ja saavutettavuusindikaattorit.

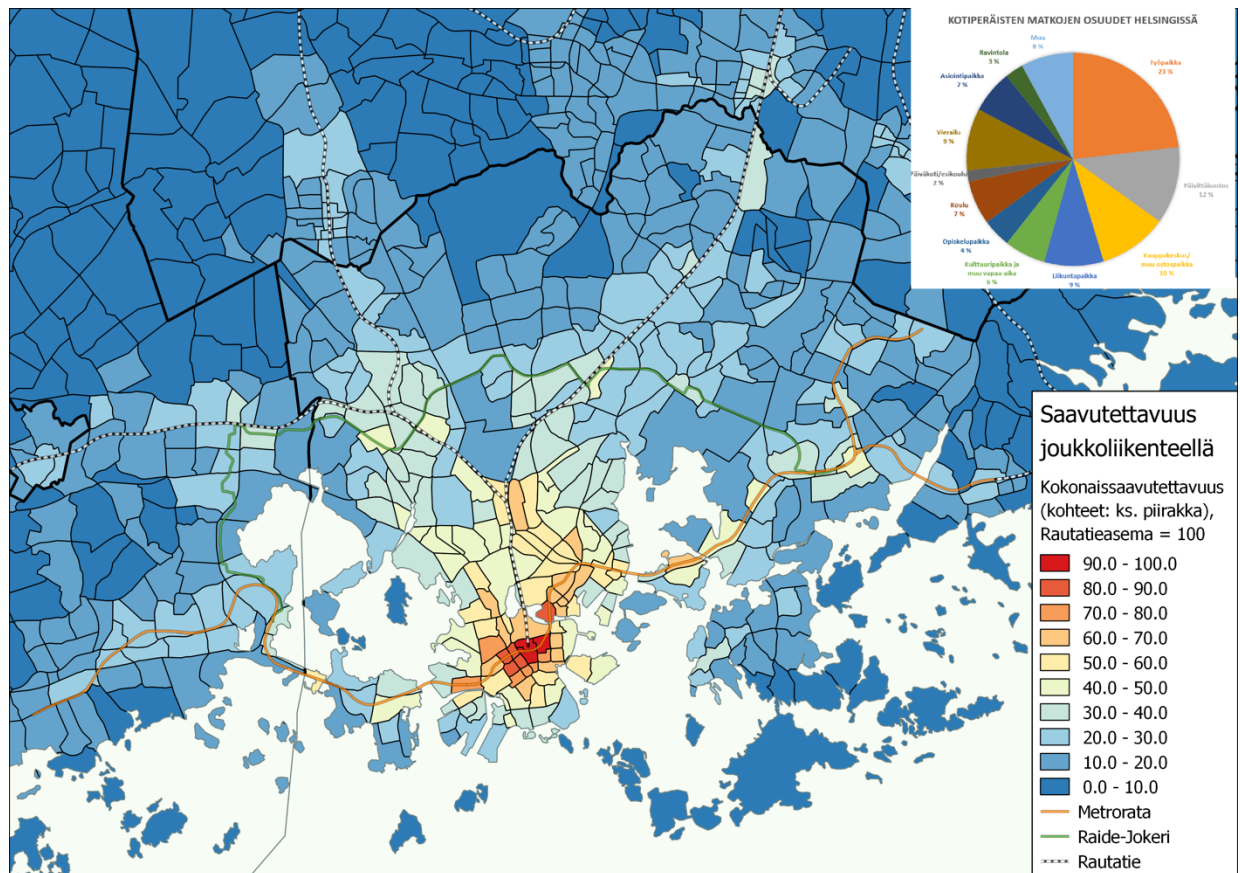
5 TULOKSET

5.1 Saavutettavuus kestäväillä liikennemuodoilla vuonna 2030

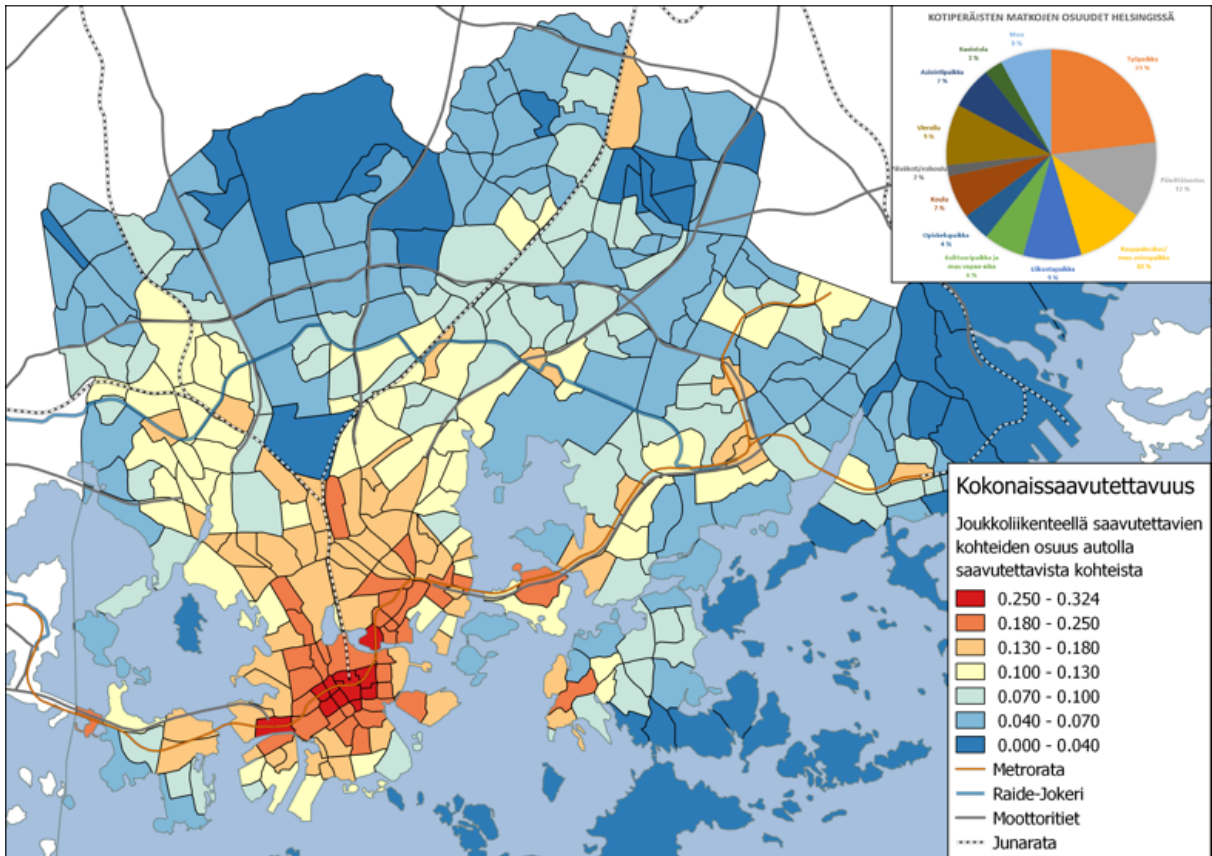
Kuvissa 26-29 on esitetty potentiaalinen kokonaissaavutettavuus eri kulkumuodoilla vuonna 2030, jonka laskumenetelmät on kuvattu kappaleissa 4.3.1 - 4.3.3. Kokonaissaavutettavuudessa on huomioitu kaikki 11 matkaryhmää, joiden saavutettavuudet on laskettu yhteen matkaryhmien osuuksien mukaisesti. Kuvassa 26 on esitetty kokonaissaavutettavuus joukkoliikenteellä vuonna 2030. Potentiaalisen saavutettavuuden arvot on normalisoitu asteikolle 0-100 siten, että korkeimman saavutettavuuden alue saa arvon 100. Kartasta voidaan havaita, että vuonna 2030 joukkoliikenteen parhaimman saavutettavuuden vyöhyke (kartassa

punaisella värillä) sijaitsee maantieteellisesti pienellä alueella päärautatieaseman ja Kaisaniemen lähistöllä.

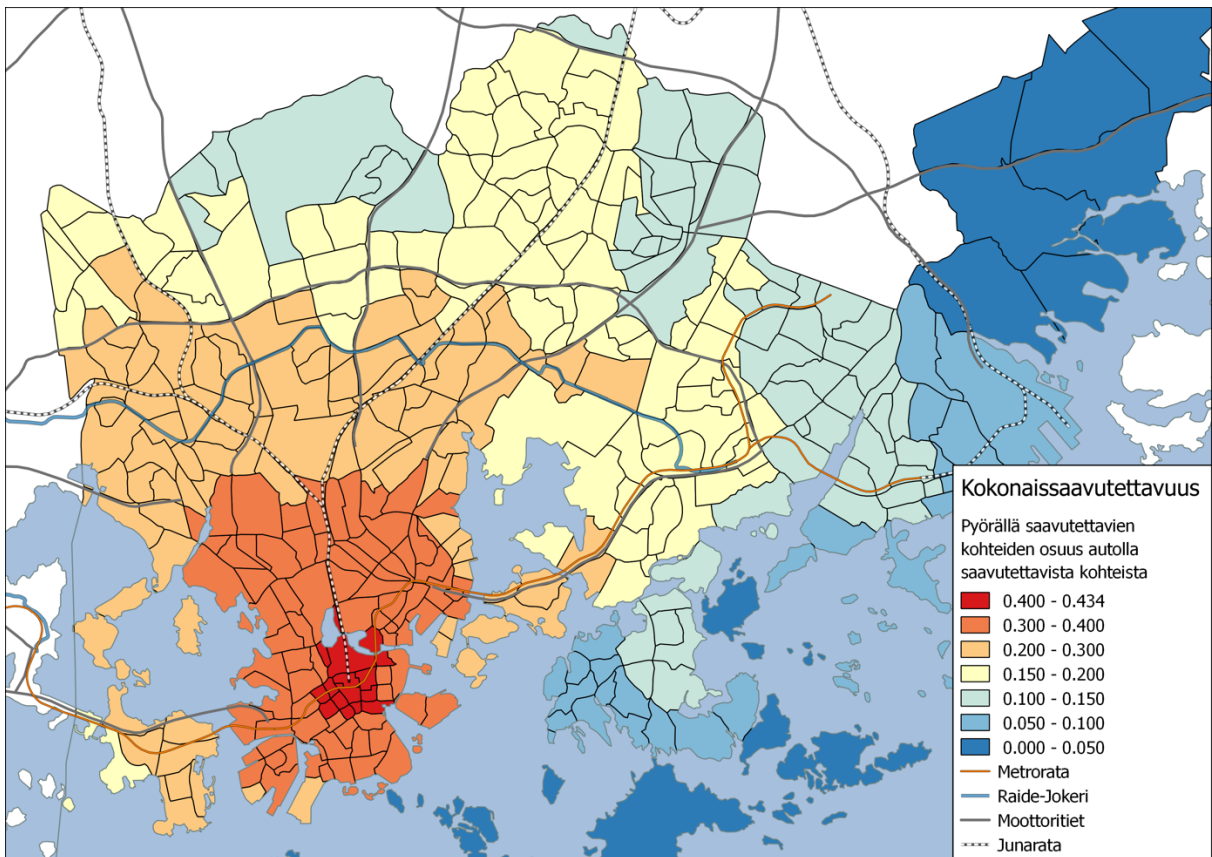
Kuvat 27-29 esittävät joukkoliikenteen, pyöräilyn ja kestävien liikennemuotojen kokonaissaavutettavuutta suhteessa autoiluun. Joukkoliikenteellä voidaan parhaimmillaan saavuttaa 32,4 prosenttia autolla saavutettavista kohteista samassa ajassa. Tulosten perusteella voidaan päätellä, että vuonna 2030 auton avulla voidaan saavuttaa samassa ajassa kaikilla Helsingin alueilla vähintään kolme kertaa yhtä paljon kohteita kuin joukkoliikenteellä. Erityisen suuri ero on Tuomarinkylässä ja Östersundomissa, joissa joukkoliikenteellä voidaan saavuttaa alle 4 prosenttia autolla saavutettavista kohteista samassa ajassa. Kartalta voidaan havaita kuitenkin useita alueita, joissa uudet joukkoliikennehankkeet ovat johtaneet parantuneeseen joukkoliikenteen saavutettavuuteen, kuten esimerkiksi Kruunuvuorenranta sekä Raide-Jokerin ja Länsi-Helsingin raitioteiden vaikutusalueet. Kuten kuva 28 kertoo, pyörällä voidaan saavuttaa Helsingin ydinkeskustassa jopa 43 prosenttia autolla saavutettavista kohteista. Kestävillä liikennemuodoilla voidaan yhdessä saavuttaa yli 48 prosenttia autolla saavutettavista kohteista.



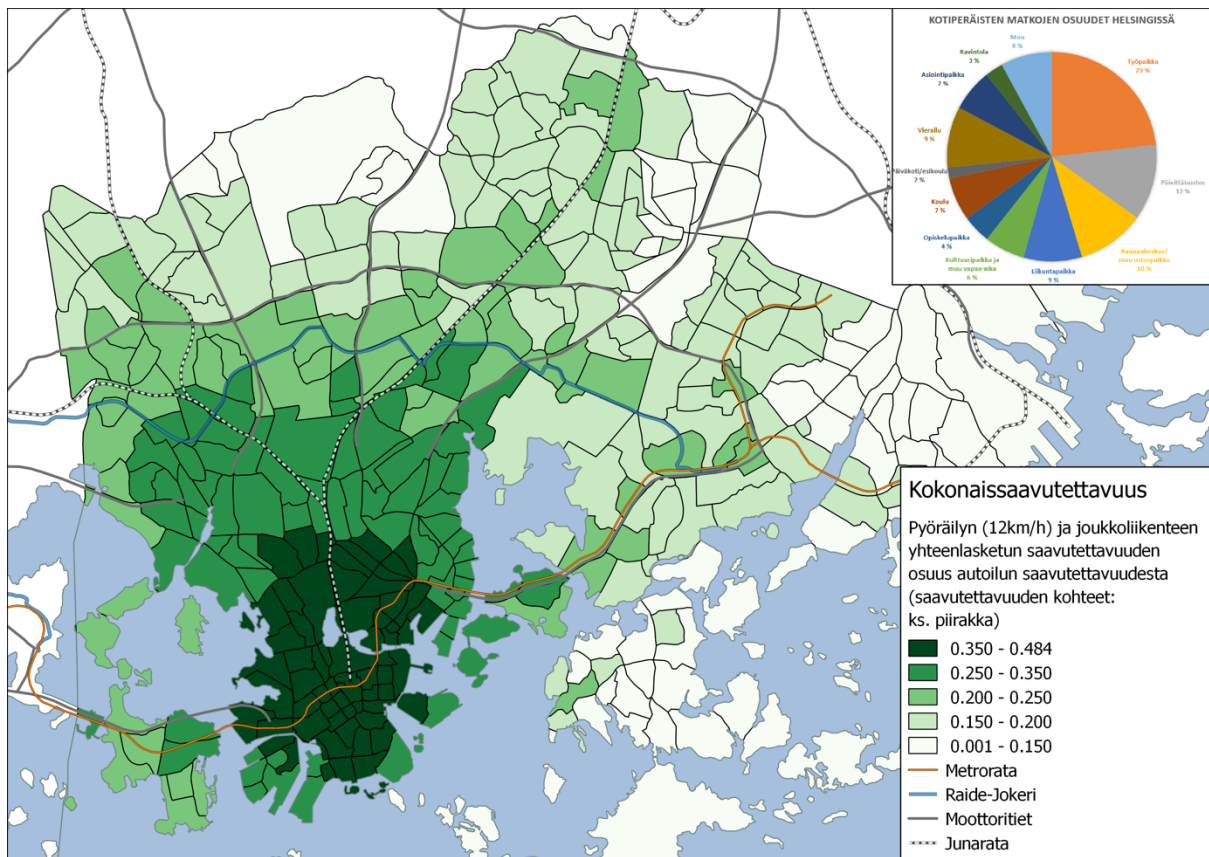
Kuva 26. Kokonaissaavutettavuus joukkoliikenteellä vuonna 2030.



Kuva 27. Kokonaissaavutettavuus 2030: joukkoliikenne/auto



Kuva 28. Kokonaissaavutettavuus 2030: pyörä/auto. Pyöräilyn nopeus 12 km/h.

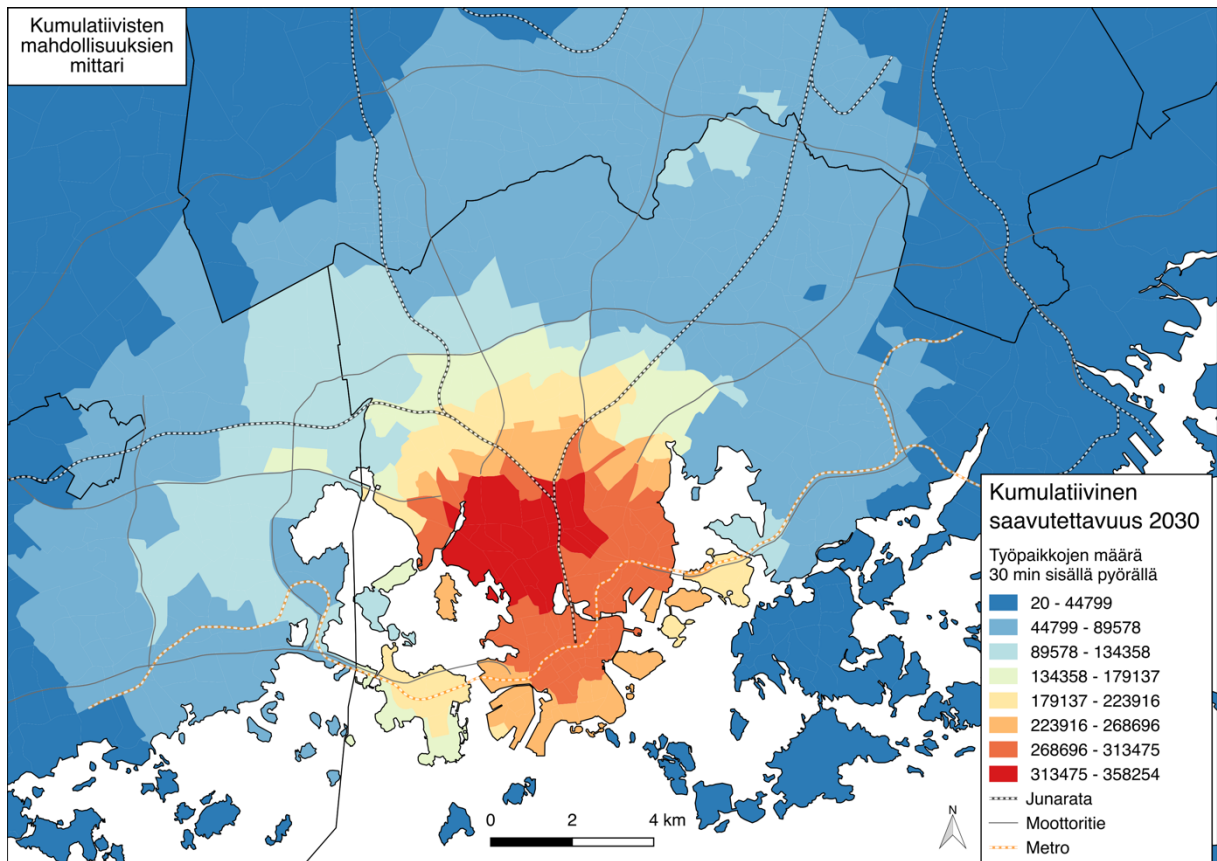


muokattua Gaussin funktiota sekä log-logistista funktiota. Mittareiden laskennassa käytettyjen funktioiden parametrit on esitelty kappaleessa 5.4. Karttojen alueet on luokiteltu Helsingin sisällä yhtä suuriin luokkiin equal count -menetelmällä, jotta karttojen vertailu olisi mahdollista. Kuten kappaleen 5.4 kuva 23 havainnoi, sekä log-logistinen funktio, muokattu Gaussin funktio että negatiivinen eksponenttifunktio ovat hyvin lähellä toisiaan. Tämän takia myös kyseisillä funktioilla lasketut saavutettavuusmittarit ovat hyvin samankaltaisia, kuten kuvista 32-34 voidaan havaita.

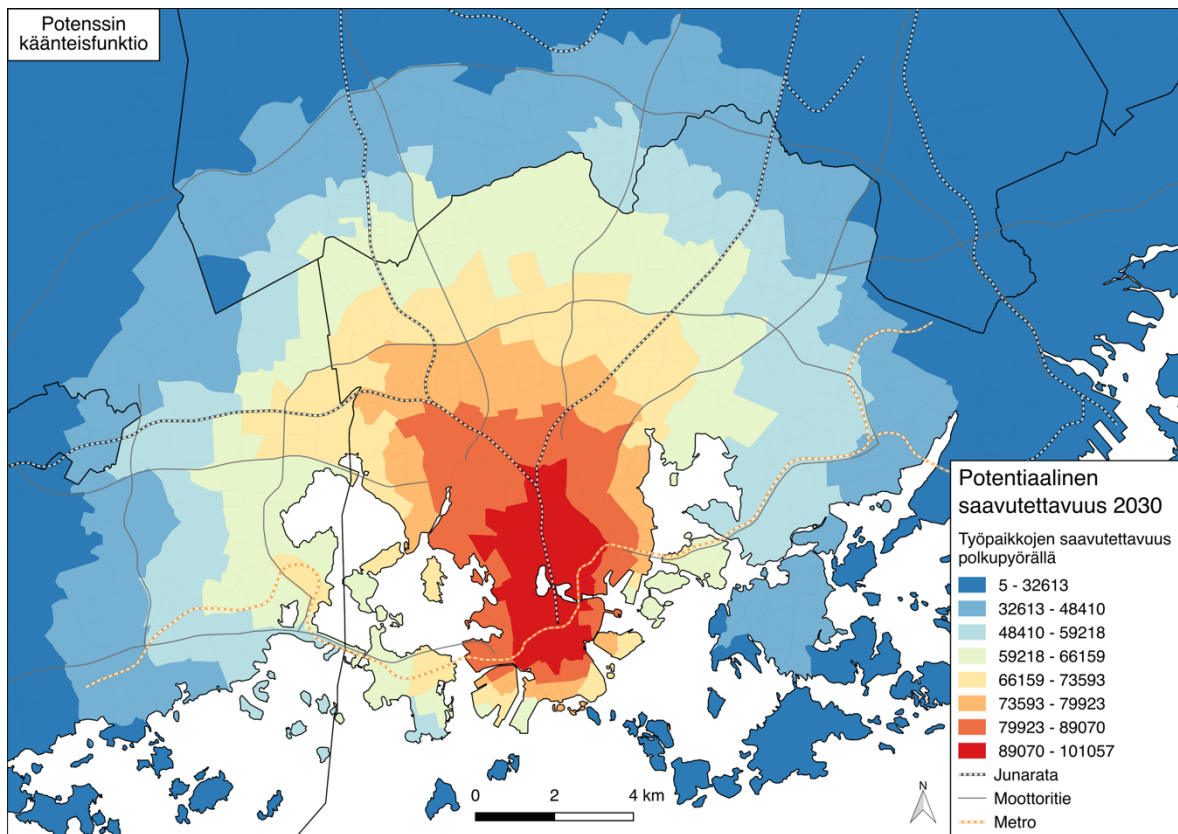
Edellä mainituista saavutettavuusmittareista selvästi poikkeava on 30 minuutin kumulatiivinen saavutettavuus (kuva 30). Kuvassa 30 parhaimman saavutettavuuden alue sijoittuu Pikku-Huopalahden ja Meilahden alueelle, kun taas kuvissa 32-34 parhaimman saavutettavuuden alue sijoittuu noin kahden kilometrin säteelle Töölönlahdesta. Ero selittyy, kun tarkastellaan kumulatiivisen saavutettavuusmittarin ja potentiaalisten impedanssifunktioiden käyrien eroavaisuuksia (kuva 23). Kumulatiivinen saavutettavuus painottaa kaikkia kohteita yhtä paljon, riippumatta siitä sijaitsevatko ne lähellä lähtöaluetta vai aivan raja-arvon tuntumassa. Sen sijaan potentiaalinen saavutettavuus painottaa kohteita sen mukaan, miten kaukana lähtöalueesta ne sijaitsevat. Tämän takia 30 minuutin kumulatiivisen saavutettavuuden paras alue sijoittunee Pikku-Huopalahden alueelle, sillä kyseiseltä alueelta voidaan saavuttaa 30 minuutissa käytännössä kaikki kantakaupungin työpaikat, minkä lisäksi myös monet muut työpaikka-alueet sijaitsevat 30 minuutin matka-ajan isokroonin sisällä. Potentiaalisen saavutettavuusmittarin paras alue sijoittuu sitä vastoin Töölönlahden ja Rautatieaseman lähetyville, sillä kyseiseltä alueelta käsin matka-ajalla painotettu työpaikkasaavutettavuus on kaikista korkein.

Potenssin käänteisfunktio (kuva 31) eroaa jonkin verran muista potentiaalisen saavutettavuuden mittareista, sillä sen impedanssikäyrä laskee hyvin jyrkästi alas pienillä etäisyyksillä, minkä johdosta saavutettavuus painottaa vahvasti erittäin lähellä sijaitsevia kohteita. Kartassa voidaan havaita esimerkiksi merenrannan suuri vaikutus potencsin käänteisfunktioilla laskettuun saavutettavuuteen, sillä lähellä merenrantaa sijaitsevat alueet saavat Helsingin kantakaupungissa selvästi pienempiä saavutettavuusarvoja kuin niiden viereiset alueet. Tämän takia parhaimman saavutettavuuden alue (kuvassa punaisella) on hieman soikean muotoinen pohjois-eteläsuuntaisella akselilla (kuva 31).

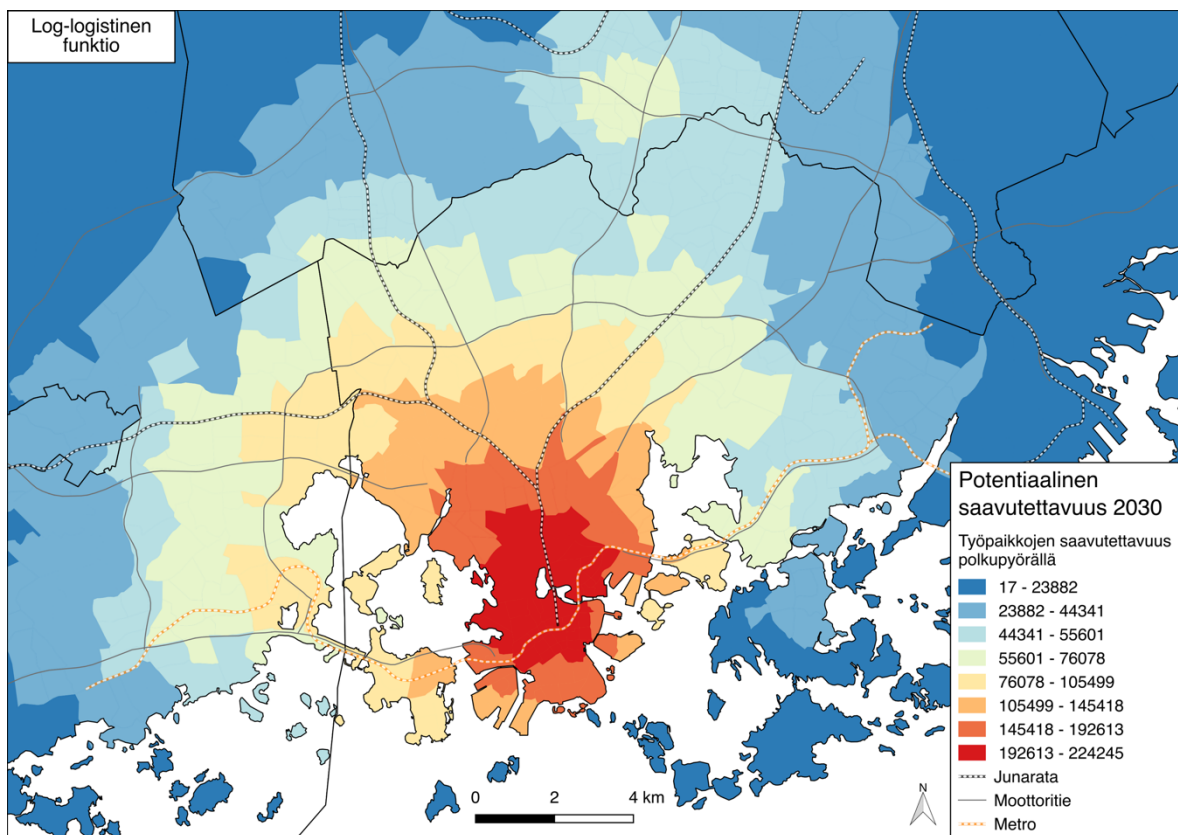
Käytännössä sekä log-logistinen funktio, muokattu Gaussin funktio että negatiivinen eksponenttifunktio ovat hyvin lähellä todellisten kotiperäisten matka-aikojen jakaumaa (kuva 23). Näistä päädyttiin lopulta valitsemaan log-logistinen funktio, sillä toisaalta sen käyrä on ylhäältä tarpeeksi laakea ja toisaalta käyrä ei laske liian lähelle nollaa pitkillä etäisyyksillä. Korrelaatioanalyysin tuloksen perusteella (kuva 24) log-logistisella funktiolla laskettu saavutettavuus ei juurikaan eroa kokonaissaavutettavuudesta, vaan niiden välinen ero on hyvin vähäinen, Pearson-korrelaation ollessa 0,997. Kuvassa 35 on esitetty kokonaissaavutettavuuden etäisyysvastusta parhaiten mallintava log-logistinen funktio ja sen impedanssikäyrä. Funktio noudattaa muotoa $f(d_{ij}) = \frac{1}{1 + (\frac{d}{17})^{2.8}}$, jossa d tarkoittaa kohteen ja lähtöalueen välistä etäisyyttä, eli matka-aikaa minuutteina.



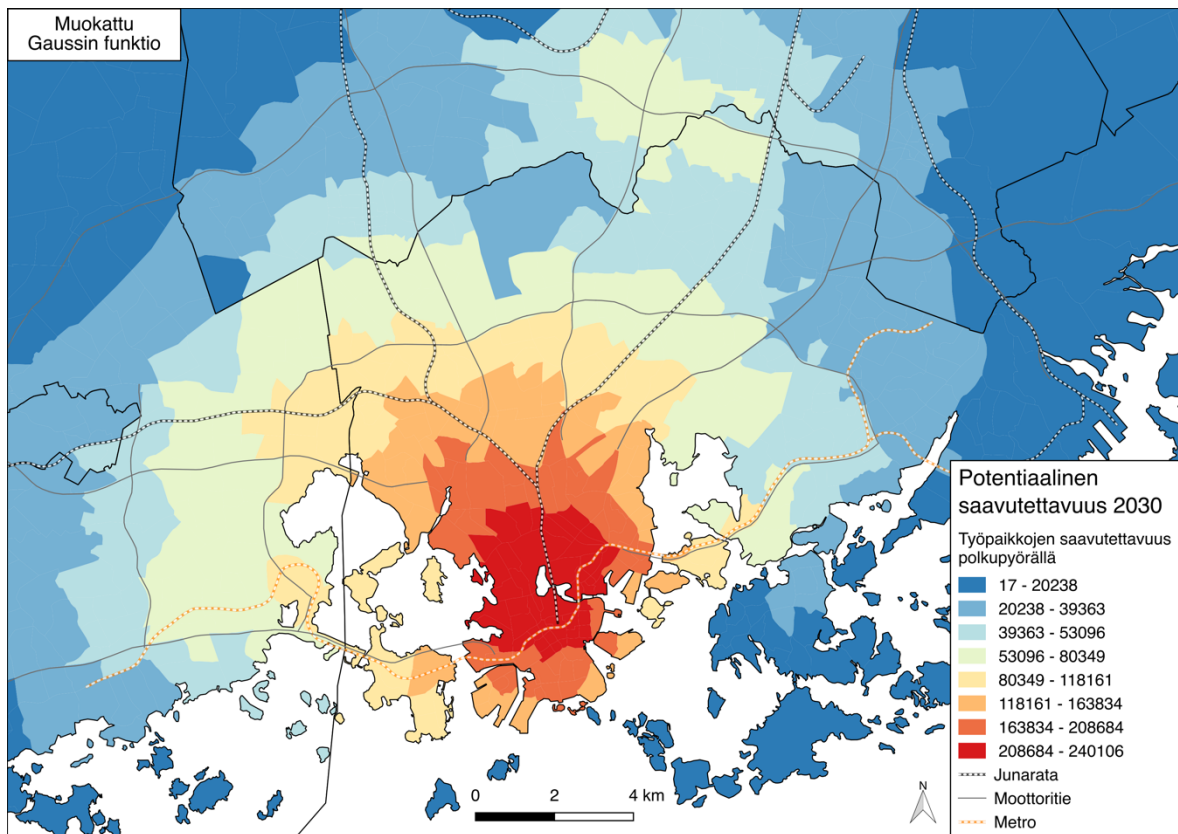
Kuva 30. Kumulatiivisen mahdollisuuksien mittari.



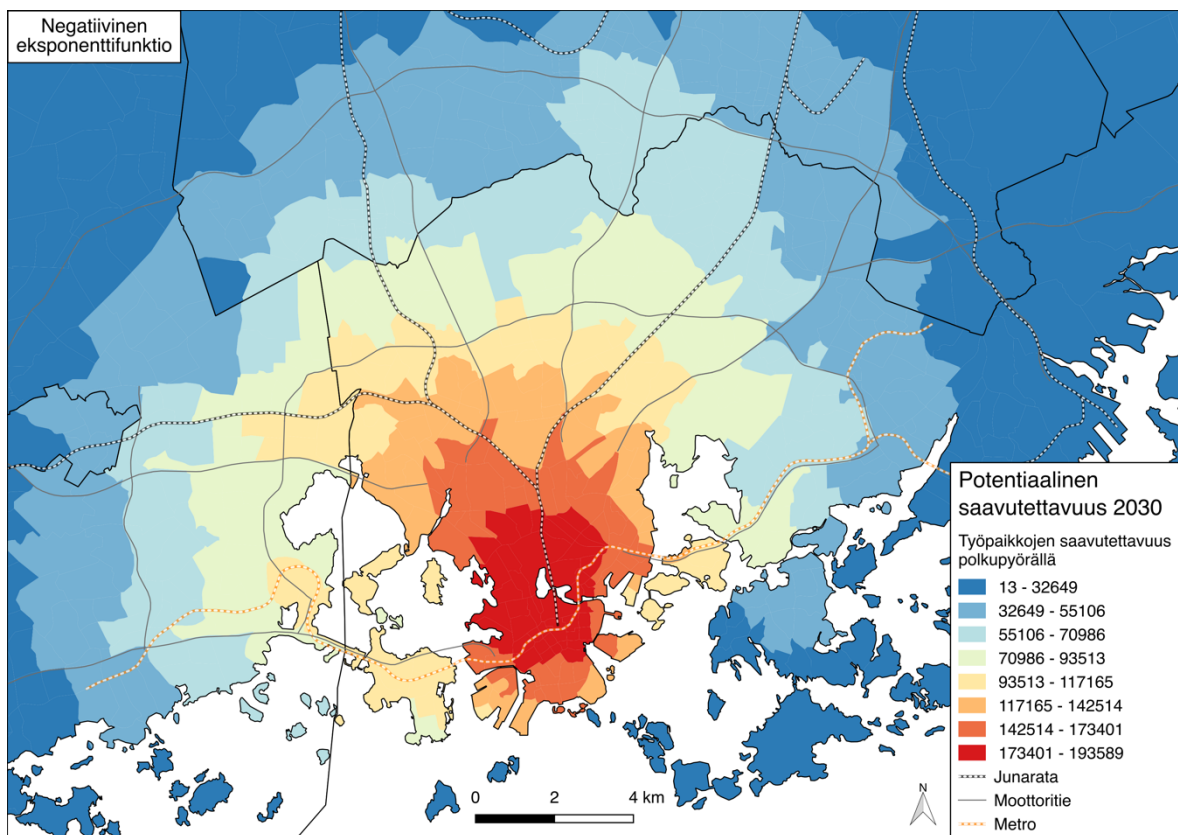
Kuva 31. Potenssin käänteisfunktio.



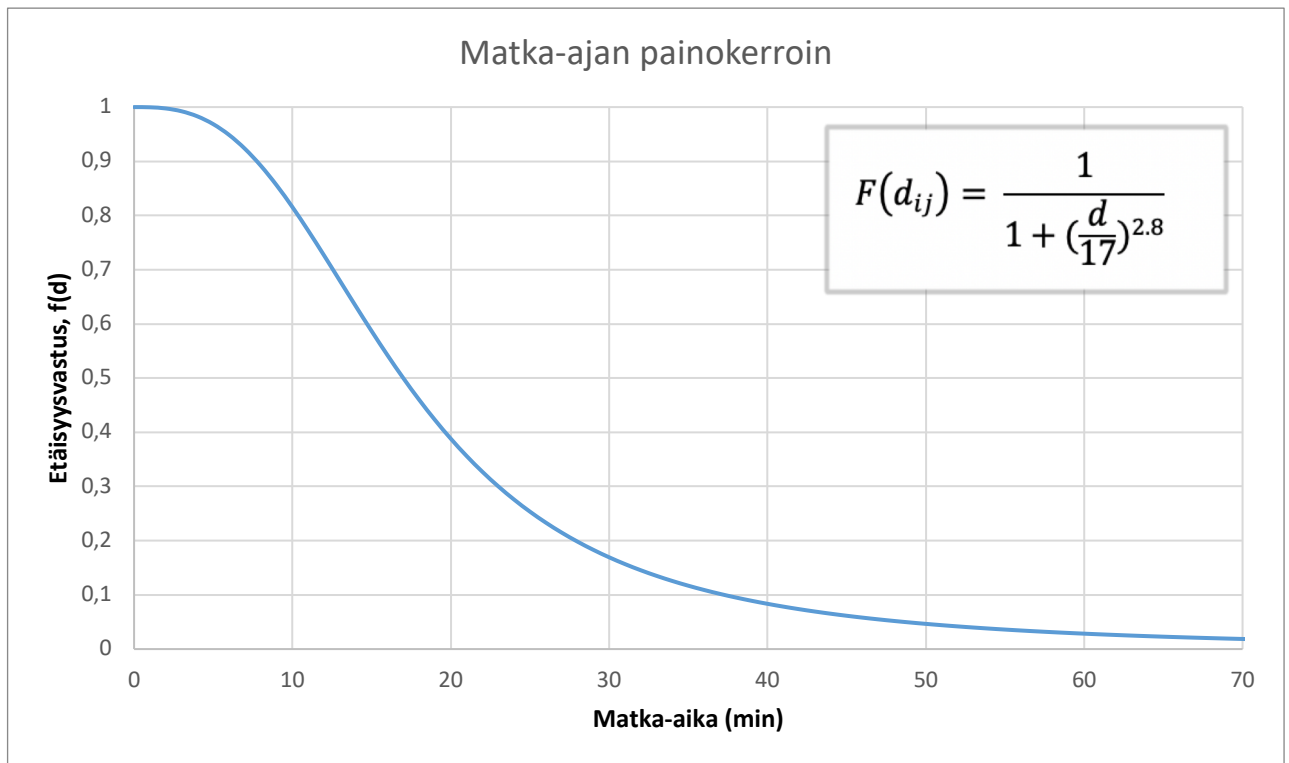
Kuva 32. Log-logistinen funktio.



Kuva 33. Muokattu Gaussin funktio.



Kuva 34. Negatiivinen eksponenttifunktio.



Kuva 35. Kokonaissaavutettavuutta parhaiten mallintava log-logistinen impedanssifunktio. Funktion muuttuja d tarkoittaa kohteen ja lähtöalueen välistä matka-aikaa (min).

5.3 Autonomistukseen vaikuttavat tekijät pääkaupunkiseudulla

Taulukossa 11 on esitetty autonomistukseen vaikuttavien tekijöiden Pearson-korrelaatiokertoimet. Pearson-korrelaatioanalyysin perusteella eniten autonomistukseen vaikuttavat tekijät ovat kerrostalojen ja pientalojen osuus asuinkerrosalasta, joukkoliikenteen ja autoilun saavutettavuuden suhde sekä joukkoliikenteen saavutettavuus. Sen sijaan keskitulo ja asumisväljyys eivät tulosten perusteella vaikuta kovin voimakkaasti autonomistukseen, korrelaatiokertoimien ollessa pääsääntöisesti alle 0,5:n luokkaa.

Eri saavutettavuusmittareista parhaiten autonomistusta vuonna 2013 selittää joukkoliikenteen ja autoilun ruuhka-ajan työpaikkasaavutettavuuden suhde vuonna 2015 laskettuna MetropAccess-matka-aikamatriiseilla. Mielenkiintoista vertailussa on, että joukkoliikenteen ja autoilun saavutettavuuden suhde selittää selvästi paremmin autonomistusta kuin pelkkä joukkoliikenteen saavutettavuus. Vuoden 2015 MetropAccess-saavutettavuusmalli selittää autonomistusta paremmin kuin vuoden 2013 MetropAccess-saavutettavuusmalli, mikä

johtunee siitä, että vuoden 2013 mallissa ei vielä ollut mukana aamuruuhkan matka-aikoja. Vuoden 2018 MetropAccess-malli taas selittää autonomistusta hieman vähemmän kuin vuosien 2013 ja 2015 mallit, mikä johtunee siitä, että vuoden 2018 malli on ajallisesti kauempana vuoden 2013 autonomistustiedoista kuin aiemmat saavutettavuusmallit. Vuoden 2018 saavutettavuusmallissa on kuitenkin mukana kestävän liikenteen, eli joukko- ja pyöräliikenteen saavutettavuus suhteessa autoliikenteen saavutettavuuteen. Kestävän liikenteen saavutettavuus suhteessa autoilun saavutettavuuteen vuonna 2018 näyttäisi selittävän autonomistusta hieman paremmin kuin pelkkä joukkoliikenteen saavutettavuus suhteessa autoilun saavutettavuuteen vuonna 2018. Kaikki MetropAccess-saavutettavuusmallit selittävät autonomistusta selvästi paremmin kuin HELMET-aineistolla laskettu saavutettavuusmalli. HELMET-mallin ja MetropAccess-mallien eroihin vaikuttavien syiden selvittäminen ei tämän tutkimuksen puitteissa ollut mahdollista, mutta todennäköisesti MetropAccess-matka-aikamatriisit mallintavat joukkoliikenteen saavutettavuutta hieman realistisemmin, johtuen siitä, että ne perustuvat todellisiin HSL:n reittioppaiden mukaisiin matka-aikoihin.

Muista maankäyttöindikaattoreista eniten autonomistukseen näyttäisi vaikuttavan alle 15-vuotiaiden osuus. Alle 15-vuotiaiden osuudella pyrittiin tässä tutkimuksessa mallintamaan lapsiperheiden osuutta perusalueella. Koska lapsiperheet usein tarvitsevat autoa muun muassa lasten kyyditsemiseen, on luonnollista, että alle 15-vuotiaiden osuus korreloi vahvasti autonomistuksen kanssa.

Taulukko 11. Autonomistukseen vaikuttavien muuttujien Pearson-korrelaatiokertoimet.

Selittävät	Autotiheys (autoa/1000 as)	Autoa per asutokunta	Autottomien asutokuntien osuus (%)	Kahden tai useamman auton asutokuntien osuus (%)	Kerrosala per auto (k- m ² /auto)
Kerrostalojen osuus alueen kerrosalasta	-0,690**	-0,906**	0,909**	-0,861**	0,613**
Pientalojen osuus alueen kerrosalasta	0,660**	0,889**	-0,893**	0,844**	-0,619**
MetropAccess 2015 ruuhka-aika, joukkoliikenne/auto	-0,654**	-0,807**	0,796**	-0,774**	0,713**
MetropAccess 2013 keskipäivä, joukkoliikenne/auto	-0,630**	-0,788**	0,789**	-0,744**	0,722**
MetropAccess 2018 ruuhka-aika, kestävät liikennemuodot/auto	-0,600**	-0,758**	0,752**	-0,722**	0,706**
MetropAccess 2018 ruuhka-aika, joukkoliikenne/auto	-0,616**	-0,745**	0,725**	-0,723**	0,673**
MetropAccess 2015 ruuhka-aika, joukkoliikenne	-0,576**	-0,732**	0,765**	-0,660**	0,711**
HELMET 2017, joukkoliikenne/auto	-0,565**	-0,734**	0,750**	-0,679**	0,711**
Alle 15-vuotiaiden osuus väestöstä	0,406**	0,689**	-0,735**	0,614**	-0,551**
Väestötiheys	-0,557**	-0,572**	0,592**	-0,525**	0,658**
Asutokuntien keskikoko	0,170**	0,703**	-0,708**	0,666**	-0,241**
Asumisväljyys	0,605**	0,460**	-0,409**	0,489**	ei merkitsevä
Keskitulo	0,426**	0,404**	-0,394**	0,395**	ei merkitsevä

** Korrelaatio on merkitsevä 0,01 asteen merkitsevyystasolla

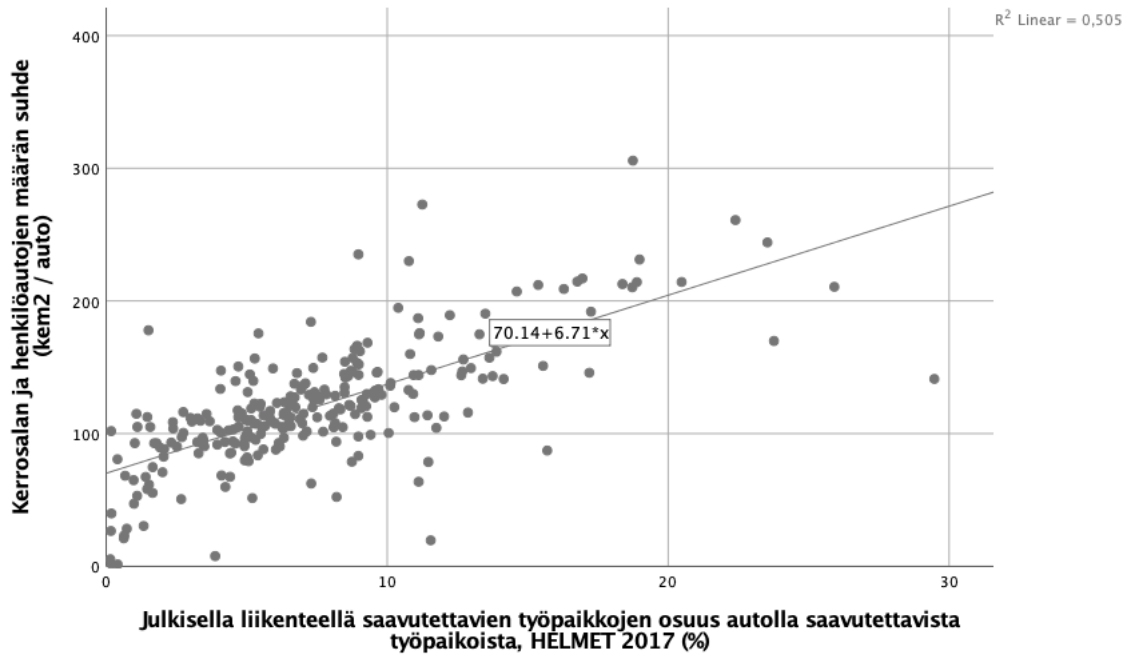
5.4 Autopaikkatarpeen ennustemalli

5.4.1 Joukkoliikenteen ja autoilun saavutettavuuden suhteeseen perustuva ennuste

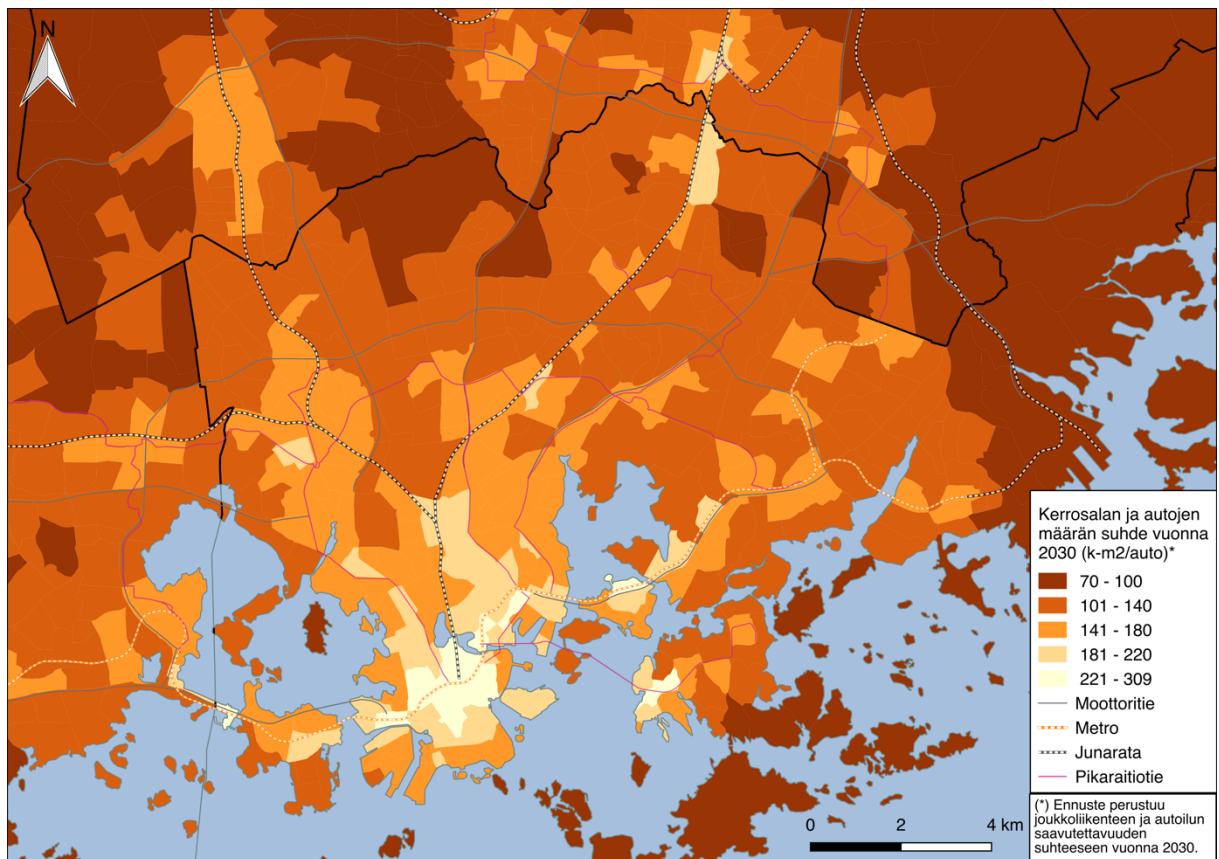
Kuvassa 36 on esitetty hajontakuvio, jossa x-akselilla on kustakin alueesta julkisella liikenteellä saavutettavien työpaikkojen osuus autolla saavutettavista työpaikoista vuonna 2017 ja y-akselilla alueen kerrosalan ja henkilöautojen välinen suhde vuonna 2013. Hajontakuvioon on lisätty myös lineaarinen regressiosuora ja regressioyhtälö, joka on muotoa $y = 70,14 + 6,71x$. Regressiomallin selitysosuus eli R^2 on 0,505, eli toisin sanoen julkisen liikenteen ja autoilun työpaikkasaavutettavuuden suhde selittää 50,5 prosenttia kerrosalan ja autojen määrän suhteesta. Kuvassa 37 on esitetty ennustekartta vuoden 2030 kerrosalan ja autojen määrän suhteesta. Ennusteessa oletetaan, että kerrosalan ja autojen määrän suhteen ja joukkoliikenteen ja autoilun saavutettavuuden suhteen välinen yhteys pysyy myös tulevaisuudessa samana, eikä muuttujien välisessä suhteessa tapahdu tulevaisuudessa mitään muutoksia. Ennuste on laskettu sijoittamalla regressioyhtälön tuntemattoman x:n tilalle vuoden 2030 joukkoliikenteen ja autoilun saavutettavuuden suhde. Ennusteen minimiarvot ovat noin 70 kerrosneliometriä autoa kohti ja maksimiarvot 309 kerrosneliometriä autoa kohti. Karttaan on myös lisätty vuoden 2030 joukkoliikenne-ennusteissa olevat pikaraitiotiet. Vaalein alue, jossa ennustetaan olevan eniten kerrosalaa autoja kohti, sijoittuu kartalla Helsingin keskustaan sekä Kallioon, Pasilaan, Kulosaareen ja Kruunuvuorenrantaan. Kruunuvuorensillan pikaraitiotien tuoma vaikutus vuoden 2030 joukkoliikenteen ja autoilun saavutettavuuden suhteeseen voidaan kartalta havaita hyvin, sillä pikaraitiotiesiltaa eivät tulevaisuudessa pääse käyttämään yksityisautot, mikä parantaa joukkoliikenteen saavutettavuutta suhteessa autoiluun selvästi. Mallia tulkittaessa on huomioitava, että malli olettaa, että autonomistusindikaattorin ja saavutettavuusindikaattorin välinen suhde pysyy myös tulevaisuudessa samana. Lisäksi on huomioitava, että malli selittää autonomistuksesta ainoastaan hieman yli 50 prosenttia.

Kuvassa 38 on esitetty lineaarinen regressiomalli asuntokuntia per auto -muuttujan ja joukkoliikenteen ja autoilun suhteen välisestä yhteydestä. Kuva 39 esittää kartalla ennusteen asuntokuntien määrästä autoa kohti vuonna 2030. Regressiomallin R^2 selityssaste on 55,2 prosenttia. Kartan korkeimmat arvot sijoittuvat Kluuviin, jossa ennustetaan olevan noin 3,9 asuntokuntaa autoa kohti vuonna 2030. Kuva 40 esittää lineaarisen regressiomallin asukkaita

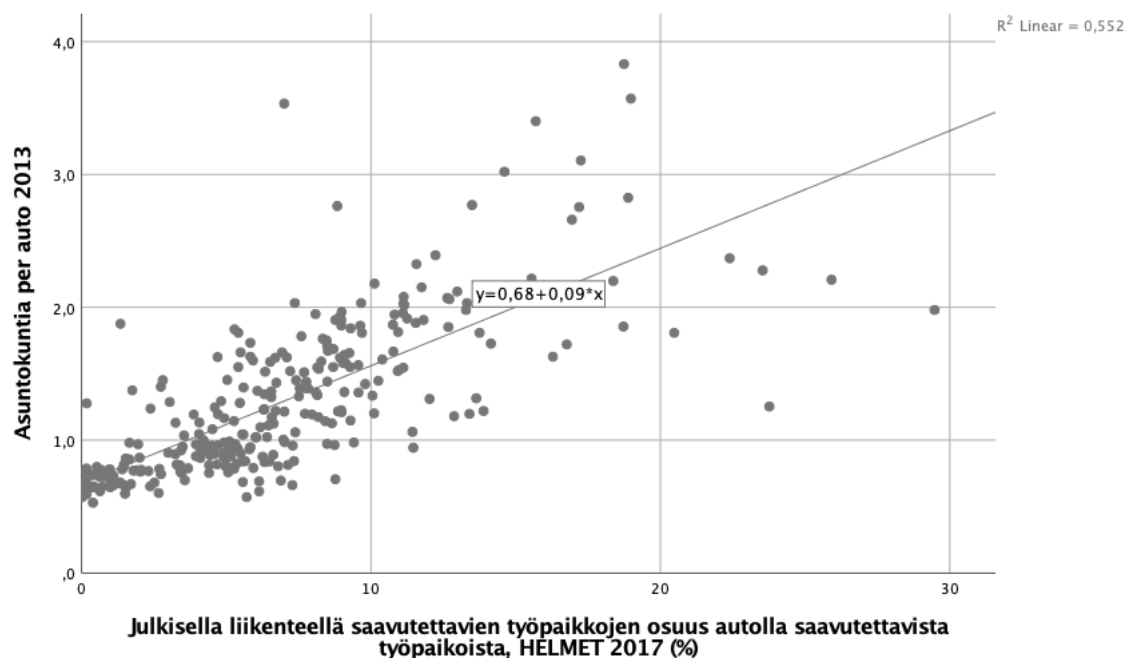
per auto -muuttujan ja joukkoliikenteen ja autoilun saavutettavuuden suhteen välisestä yhteydestä. Mallin selitysaste on heikompi kuin kahden edellisen regressiomallin, ollen noin 36,5 prosenttia. Kuvassa 41 on esitetty ennustekartta asukkaiden ja autojen määrän suhteesta vuonna 2030. Ennusteen maksimi-arvot sijoittuvat Kluuviin, jossa ennusteen mukaan on lähes kuusi asukasta autoa kohti vuonna 2030.



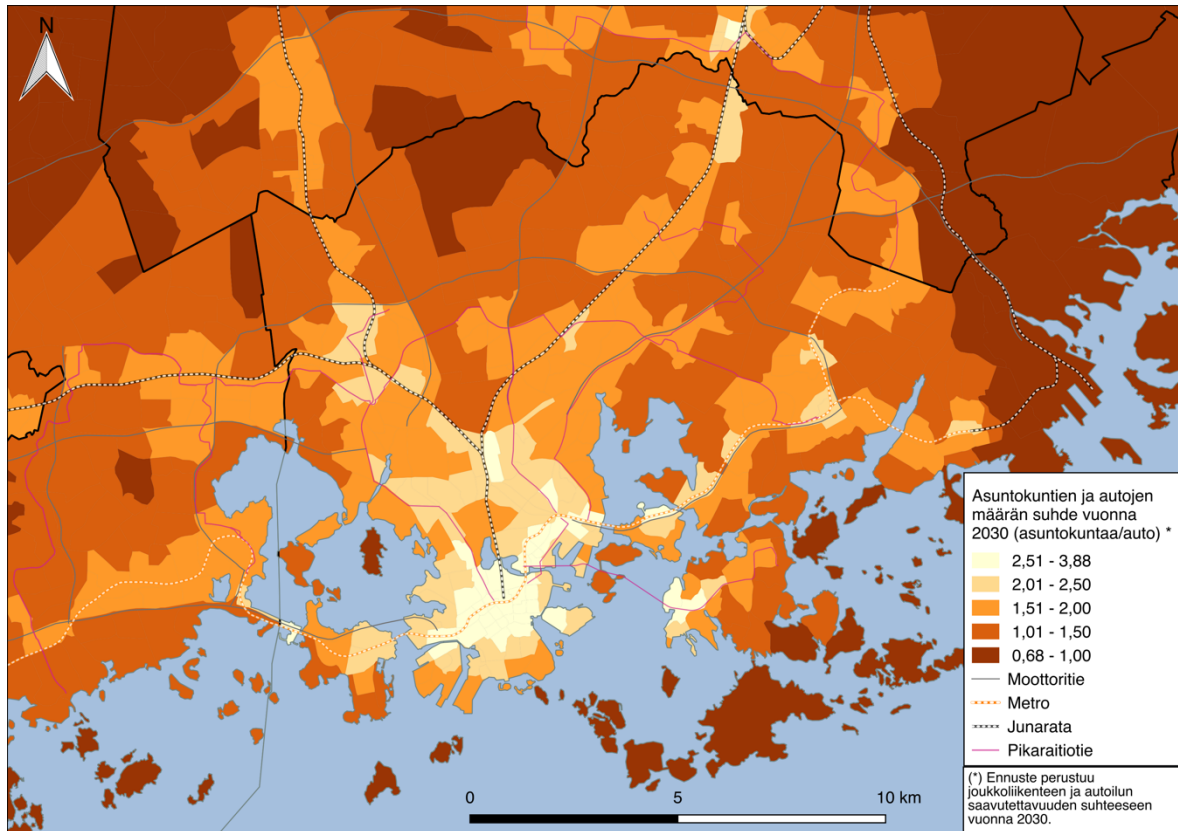
Kuva 36. Lineaarinen regressiomalli joukkoliikenteen ja autoilun saavutettavuuden suhteen ja kerrosalan ja autojen määrän suhteen välisestä yhteydestä.



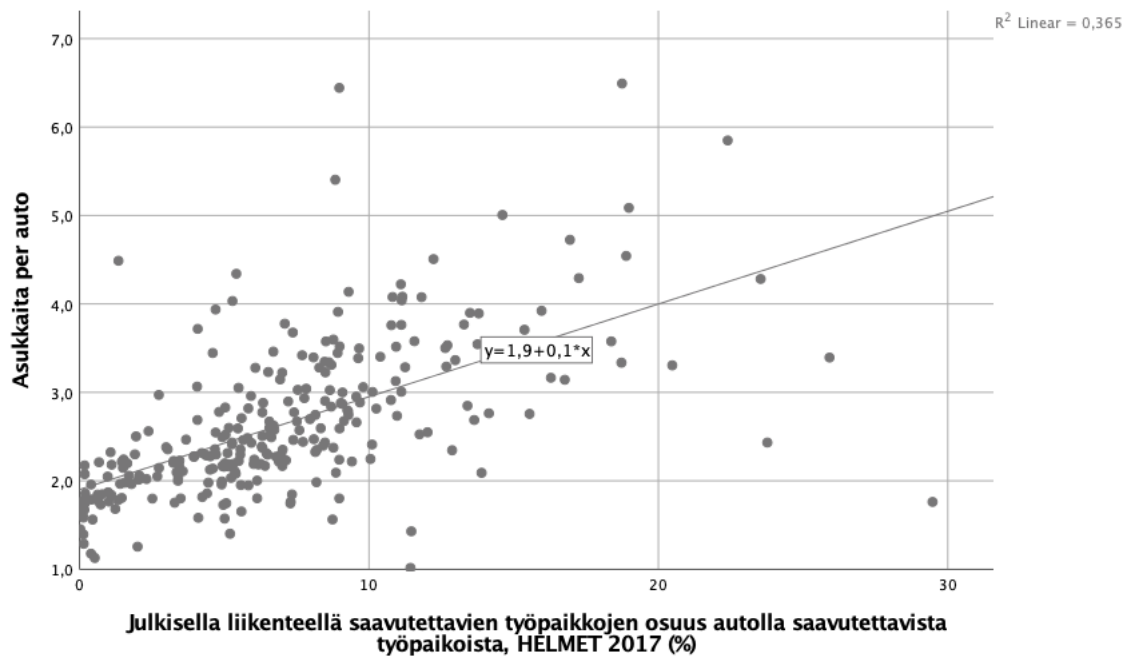
Kuva 37. Estimoitu kerrosalan ja autojen määrän suhde vuonna 2030. Ennuste perustuu vuoden 2030 joukkoliikenteen ja autoilun saavutettavuuden suhteeseen. Selityssaste on 50,5 %.



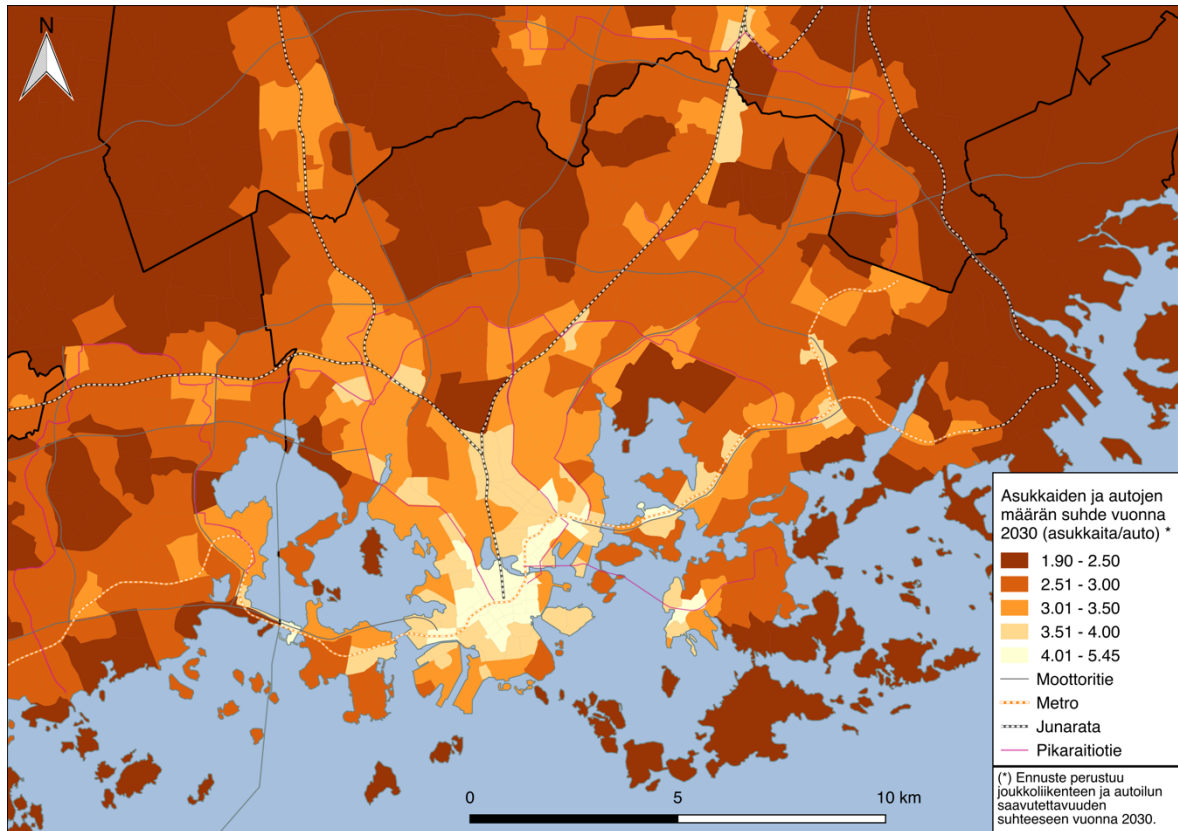
Kuva 38. Lineaarinen regressiomalli asuntokuntien ja autojen määrän suhteen ja joukkoliikenteen ja autoilun saavutettavuuden suhteen välisestä yhteydestä.



Kuva 39. Estimoitu asuntokuntien ja autojen määrän suhde vuonna 2030. Ennuste perustuu joukkoliikenteen ja autoilun saavutettavuuden suhteeseen vuonna 2030. Selitysaste 55,2 %.



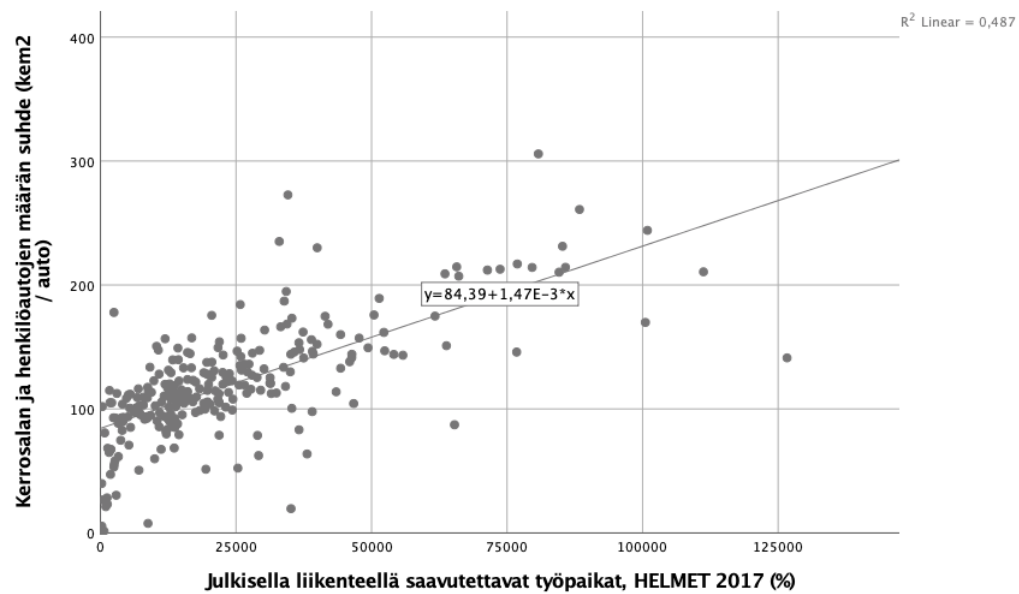
Kuva 40. Lineaarinen regressiomalli asukkaiden ja autojen määrän suhteen ja joukkoliikenteen ja autoilun saavutettavuuden suhteen välisestä yhteydestä.



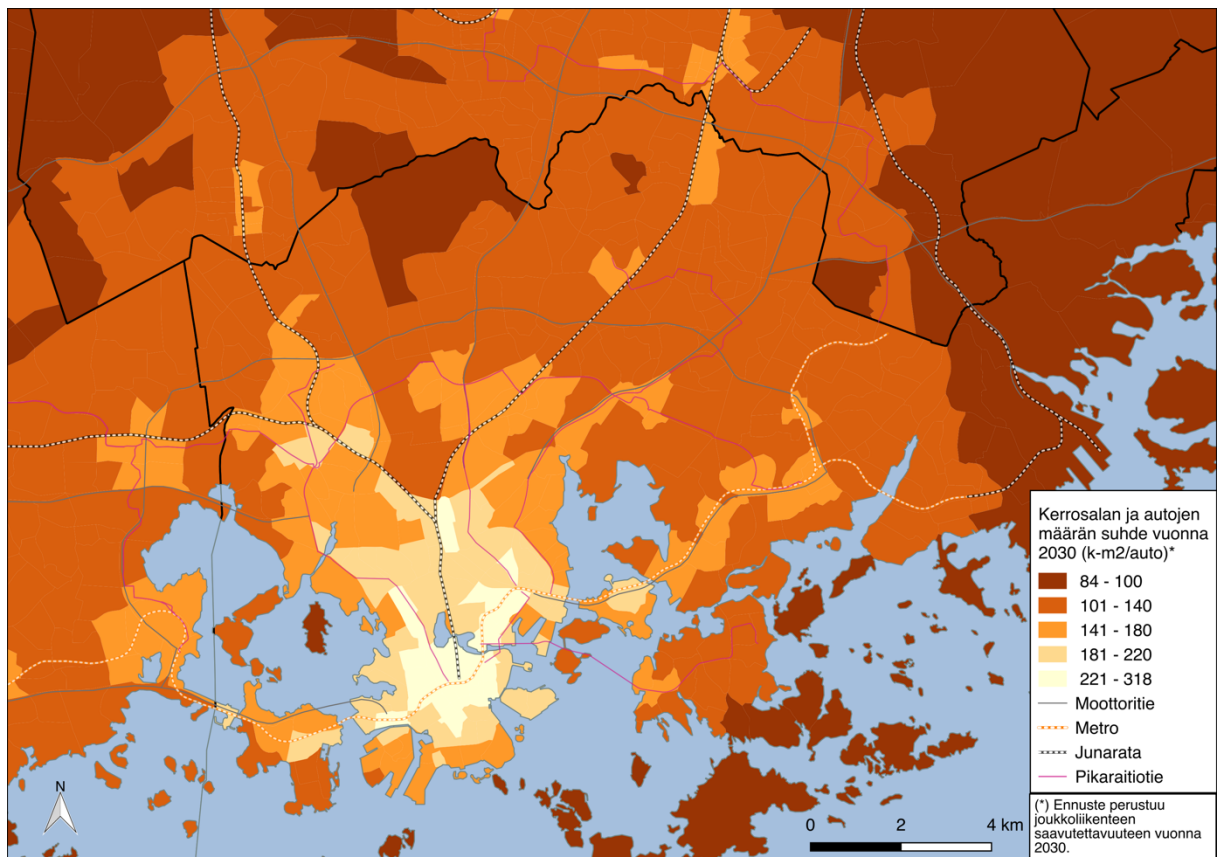
Kuva 41. Estimoitu asukkaiden ja autojen määrän suhde vuonna 2030. Ennuste perustuu joukkoliikenteen ja autoilun saavutettavuuden suhteeseen vuonna 2030. Selitysaste 36,5 %.

5.4.2 Joukkoliikenteen saavutettavuuteen perustuvat ennusteet

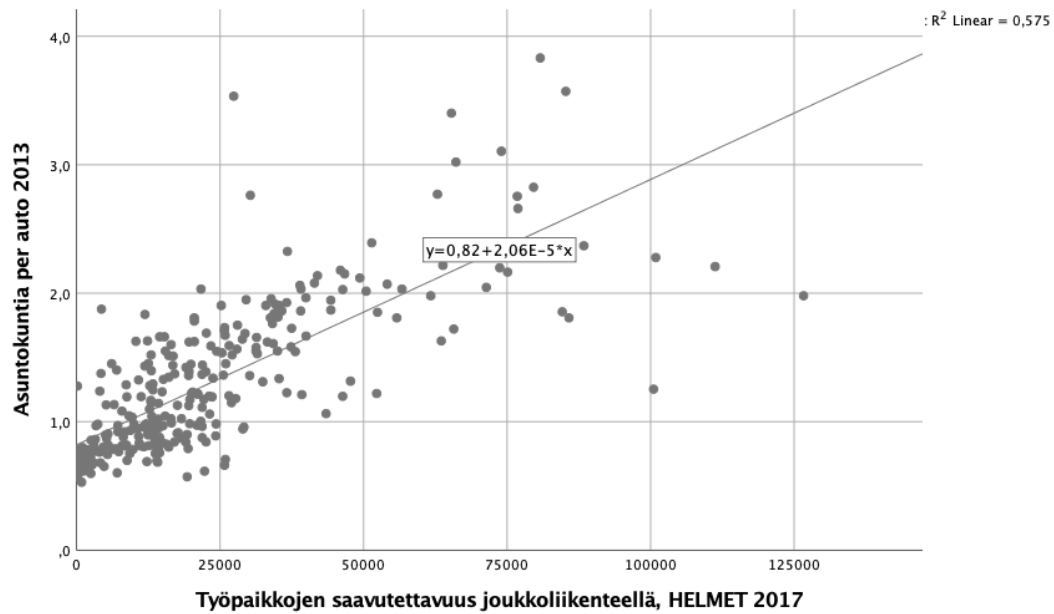
Kuvissa 42, 44 ja 46 on esitetty regressiomallit nykyhetken autonomistusindikaattorien ja julkisen liikenteen työpaikkasaavutettavuuden välisestä suhteesta. Kuvat 43, 45 ja 47 esittävät joukkoliikenteen työpaikkasaavutettavuuden perusteella lasketut autonomistusindikaattorit vuonna 2030. Paras selitysaste on asuntokuntia per auto -muuttujalla, jonka vaihtelusta työpaikkojen saavutettavuus joukkoliikenteellä selittää 57,5 prosenttia. Heikoin selitysaste taas on asukkaita per auto -muuttujalla, jonka vaihtelusta työpaikkojen saavutettavuus joukkoliikenteellä selittää 36,1 prosenttia.



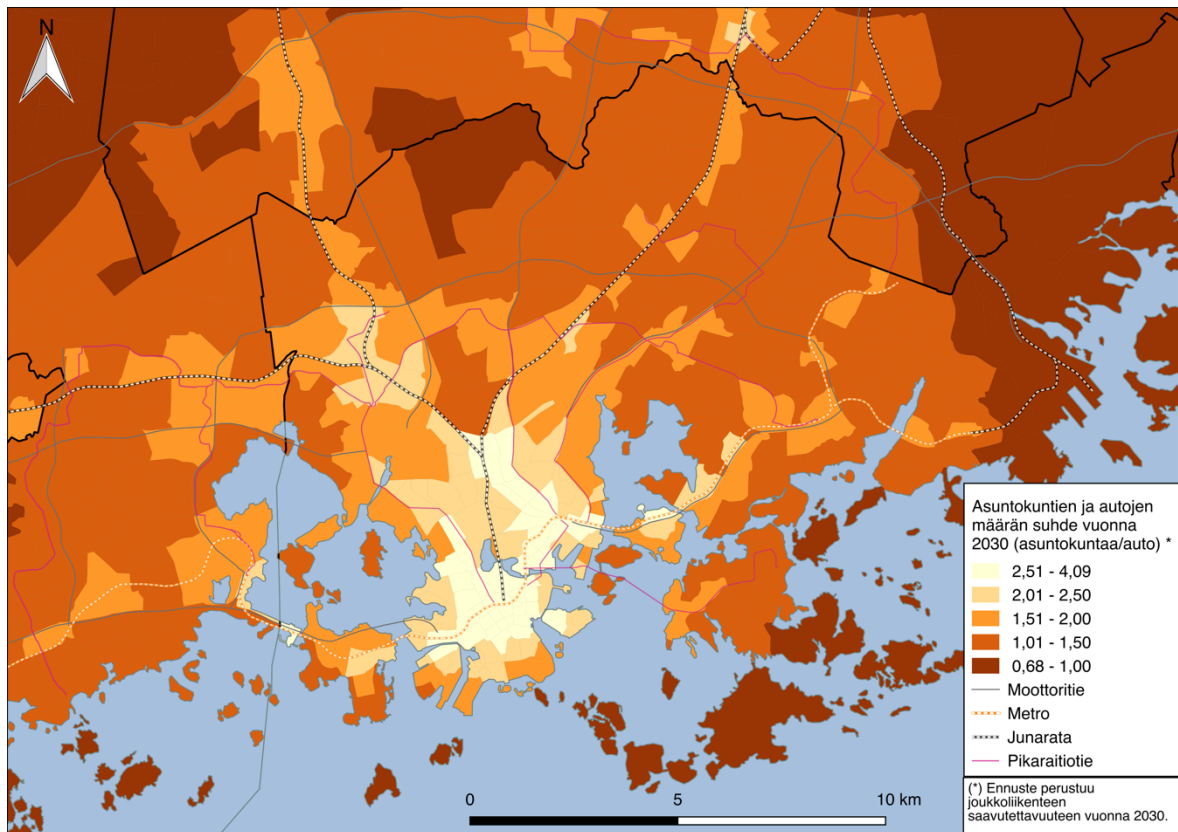
Kuva 42. Lineaarinen regressiomalli joukkoliikenteen saavutettavuuden ja kerrosalan ja autojen määrän suhteen välisestä yhteydestä.



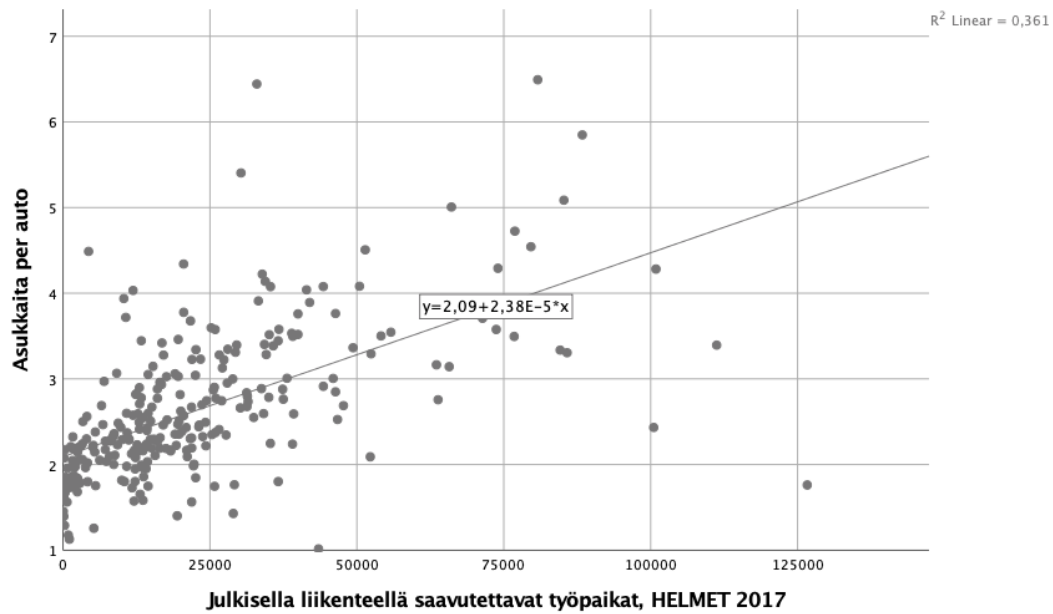
Kuva 43. Estimoitu kerrosalan ja autojen määrän suhde vuonna 2030. Ennuste perustuu vuoden 2030 joukkoliikenteen saavutettavuuteen. Selitysaste on 48,7 %.



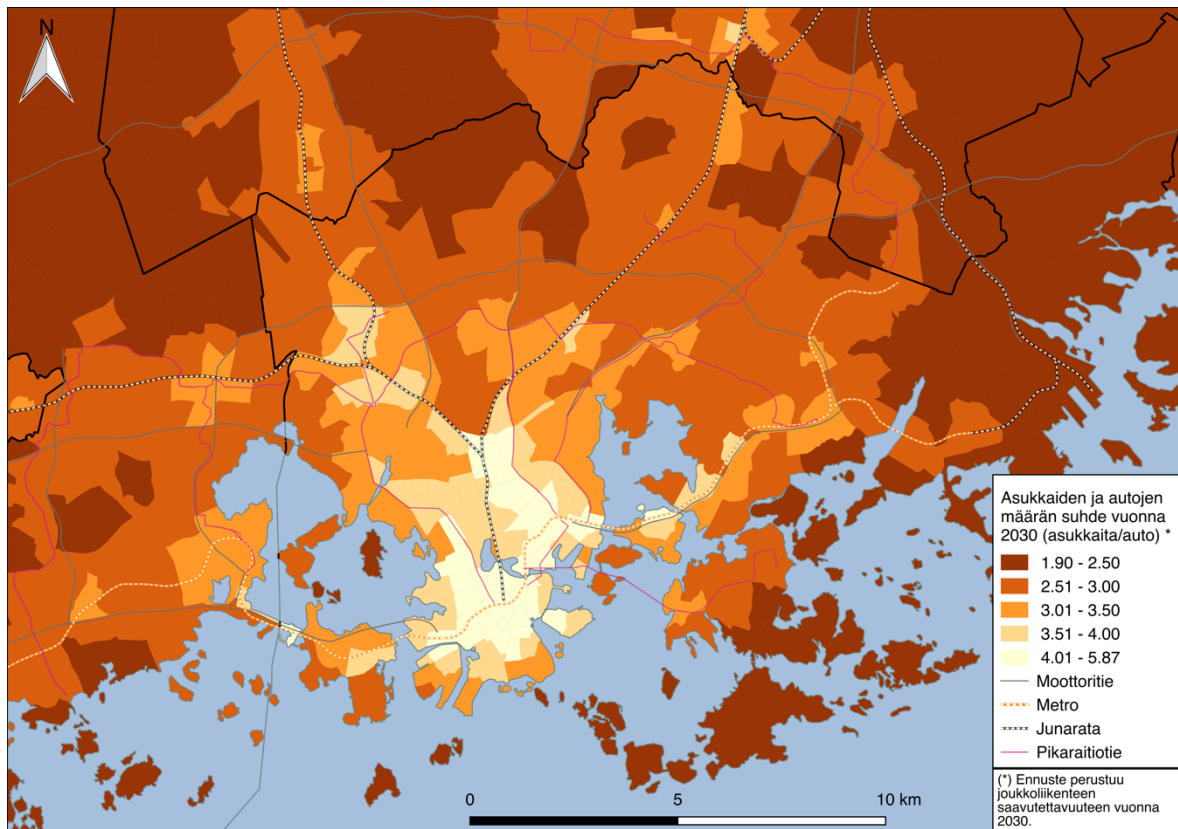
Kuva 44. Lineaarinen regressiomalli asuntokuntien ja autojen määrän suhteen ja joukkoliikenteen saavutettavuuden välisestä yhteydestä.



Kuva 45. Estimoitu asuntokuntien ja autojen määrän suhde vuonna 2030. Ennuste on laskettu sijoittamalla vuoden 2030 joukkoliikenteen saavutettavuuteen regressioyhtälö $y = 0,82 + 0,0000206 * x$. Selitysaste on 57,5 %.



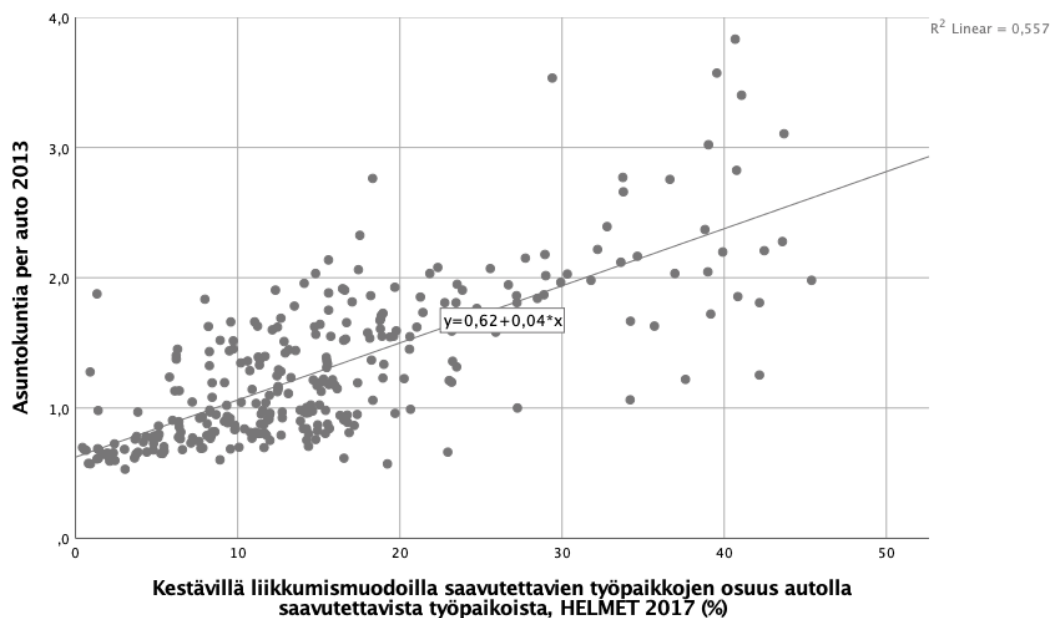
Kuva 46. Lineaarinen regressiomalli asukkaiden ja autojen määrän suhteen ja joukkoliikenteen saavutettavuuden välisestä yhteydestä.



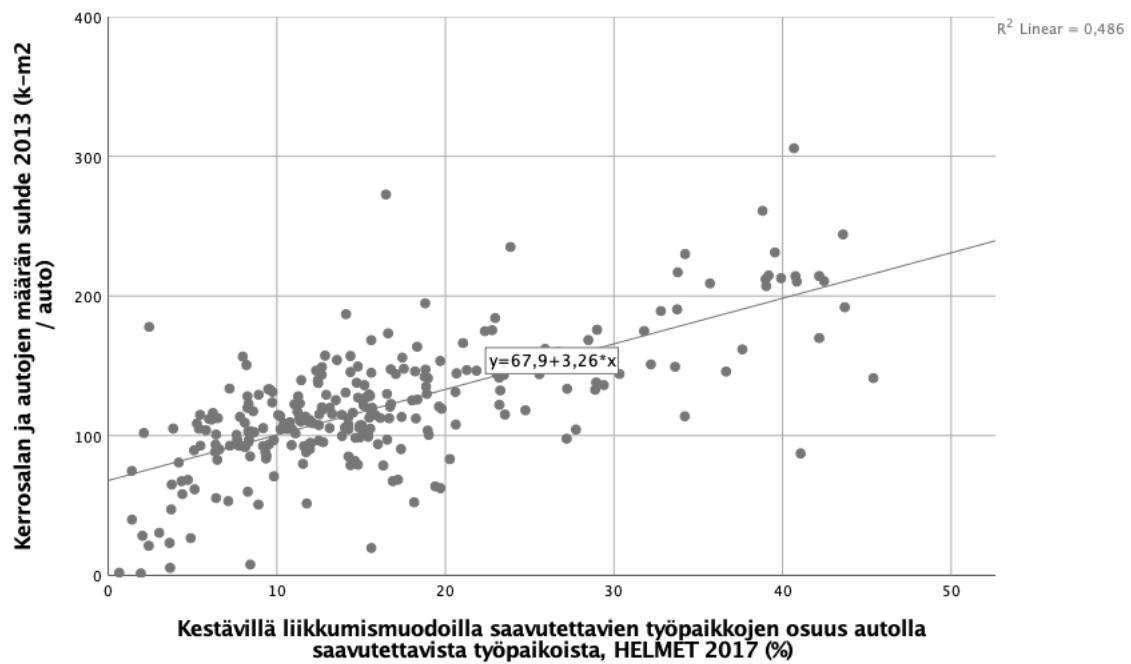
Kuva 47. Estimoitu asukkaiden ja autojen määrän suhde vuonna 2030. Ennuste on laskettu sijoittamalla vuoden 2030 joukkoliikenteen saavutettavuuteen regressioyhtälö $y = 2,09 + 0,0000238 * x$. Selityssaste on 36,1 %.

5.4.3 Kestävän liikenteen ja autoilun saavutettavuuden suhteeseen perustuva ennuste

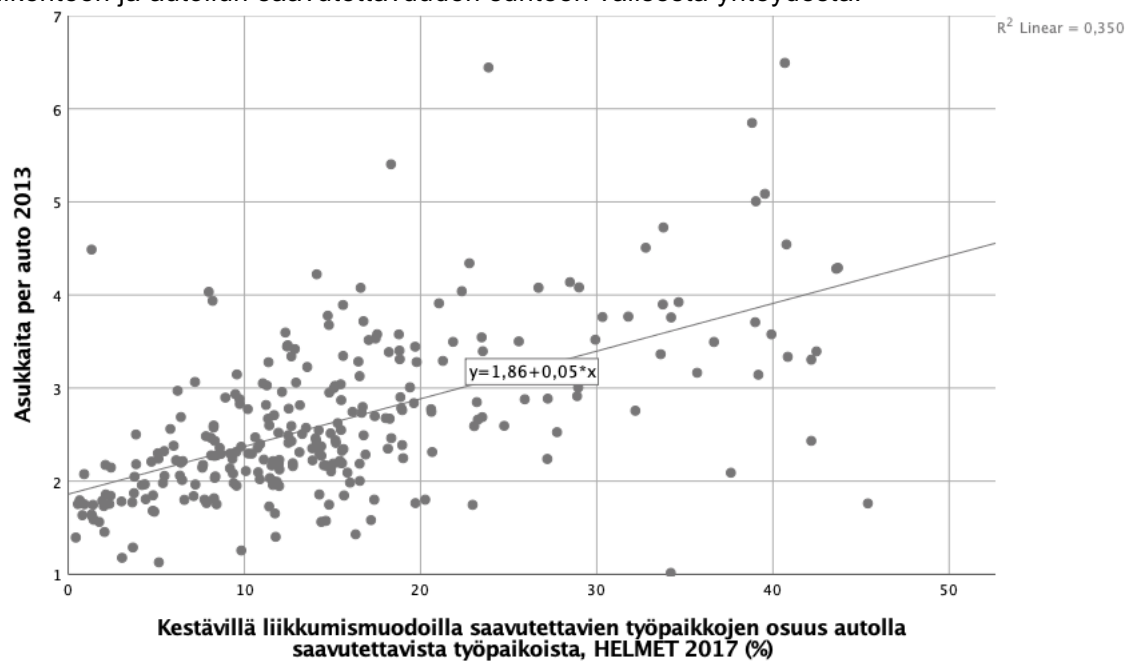
Kuvissa 48, 49 ja 50 on esitetty hajontakuviot ja lineaariset regressiokäyrät ja -yhtälöt autonomistusindikaattorien ja kestävän liikenteen ja autoilun saavutettavuuden suhteen välisestä yhteydestä. Regressiomalleista paras selitysaste on asuntokuntia per auto -muuttujalla, jota kestävän liikenteen ja autoilun saavutettavuuden suhde selittää 55,7 prosentilla. Kerrosala per auto -mallin selitysaste on 48,6 prosenttia ja asukkaita per auto -mallin selitysaste 35,0 prosenttia. Kuvissa 51, 52 ja 53 on esitetty autonomistusindikaattorien ennustekartat vuonna 2030 sijoittamalla regressioryhtälöt vuoden 2030 kestävän liikenteen ja autoilun saavutettavuuden suhteeseen. Kartoissa arvojen spatiaalinen vaihtelu on pienempää kuin pelkän joukkoliikenteen perusteella lasketuissa autonomistuskartoissa, sillä pyöräilyn saavutettavuusalueet ovat homogeenisempia kuin joukkoliikenteen saavutettavuusalueet. Kartojen maksimiarvot sijoittuvat Töölönlahden eteläpuolelle päärautatieaseman ympäristöön, jossa tulevaisuudessa ennustetaan olevan lähes 250 asuinkerrosneliömetriä, noin 4,6 asukasta ja noin 2,8 asuntokuntaa autoa kohti.



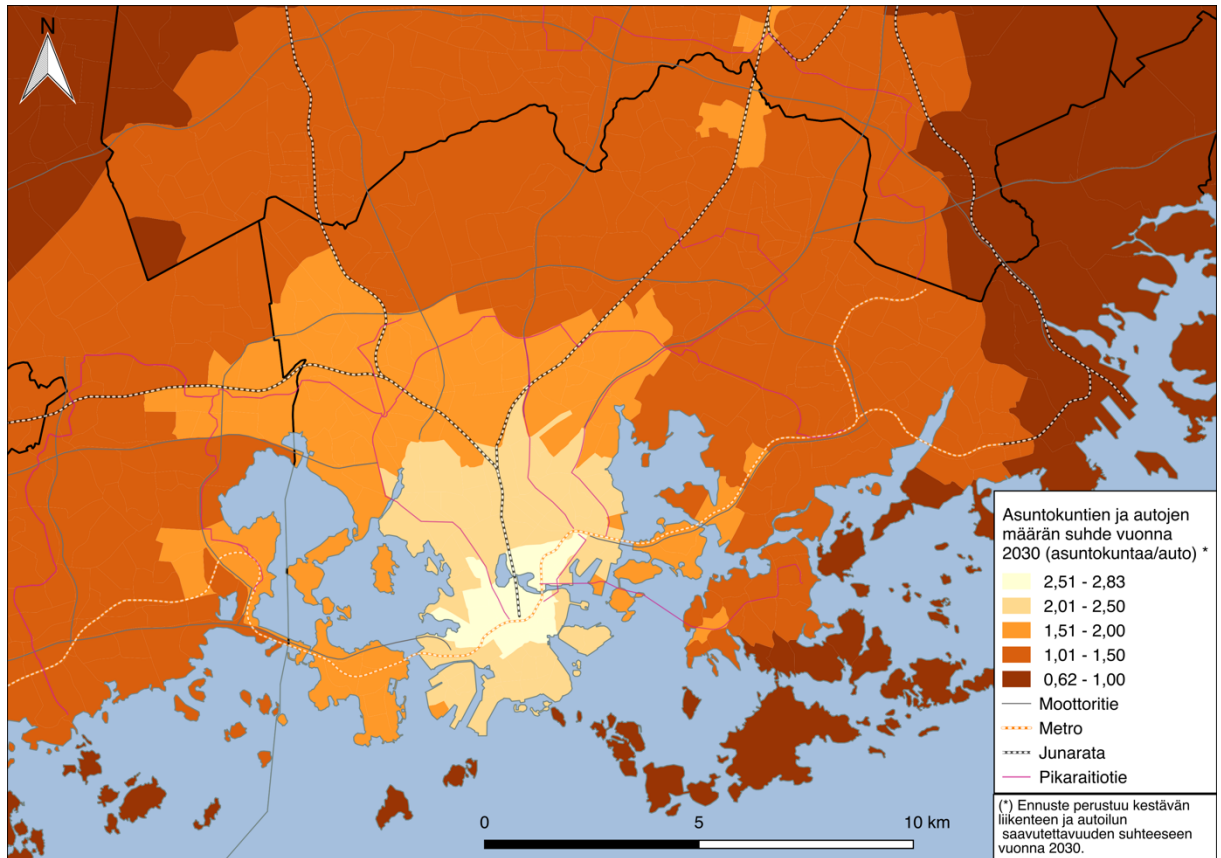
Kuva 48. Lineaarinen regressiomalli asuntokuntien ja autojen määrän suhteen ja kestävän liikenteen ja autoilun saavutettavuuden suhteen välisestä yhteydestä.



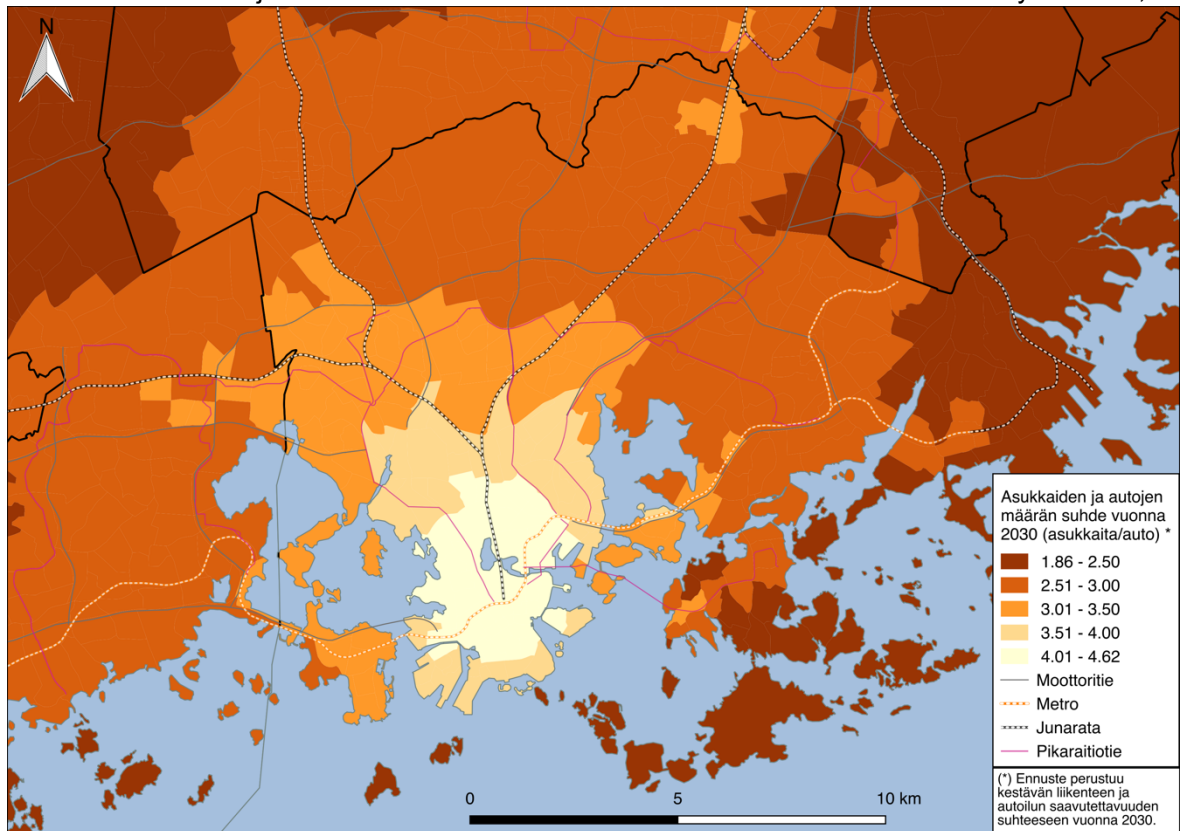
Kuva 49. Lineaarinen regressiomalli kerrosalan ja autojen määrän suhteen ja kestävän liikenteen ja autoilun saavutettavuuden suhteen välisestä yhteydestä.



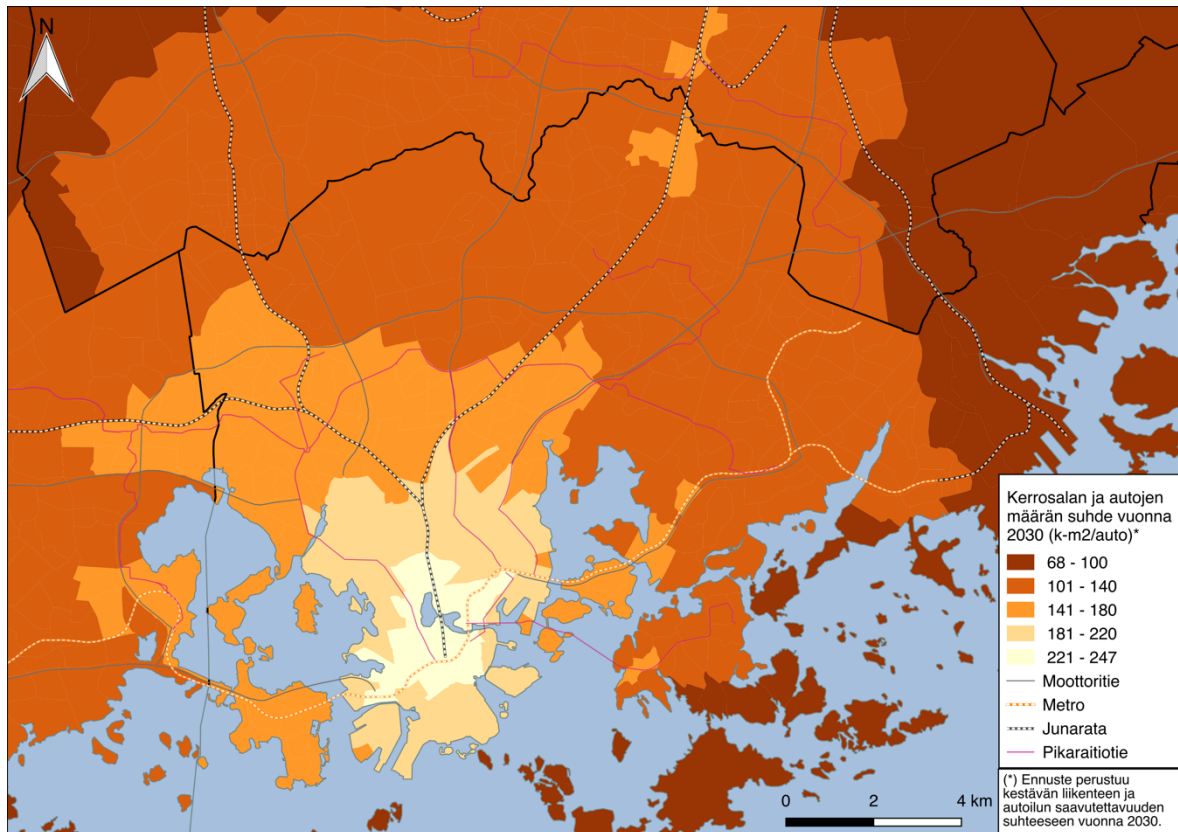
Kuva 50. Lineaarinen regressiomalli asukkaiden ja autojen määrän suhteen ja kestävän liikenteen ja autoilun saavutettavuuden suhteen välisestä yhteydestä.



Kuva 51. Estimoitu asuntokuntien ja autojen määrän suhde vuonna 2030. Ennuste perustuu kestävän liikenteen ja autoilun saavutettavuuden suhteeseen vuonna 2030. Selitysaste 55,7 %.



Kuva 52. Estimoitu asukkaiden ja autojen määrän suhde vuonna 2030. Ennuste perustuu kestävän liikenteen ja autoilun saavutettavuuden suhteeseen vuonna 2030. Selitysaste 35,0 %.



Kuva 53. Estimoitu kerrosalan ja autojen määrän suhde vuonna 2030. Ennuste perustuu kestävän liikenteen ja autoilun saavutettavuuden suhteeseen vuonna 2030. Selitysaste 48,6 %.

5.4.4 Usean muuttujan lineaariset regressiomallit

Taulukoissa 12, 13 ja 14 on esitetty autonomistusindikaattoreiden usean muuttujan regressiomallit, joissa selittävinä tekijöinä on käytetty saavutettavuusmittareita sekä asukastiheyttä. Asuntokuntia per auto -ennustemallin selitysaste on 65,9 prosenttia, kerrosala per auto -ennustemallin selitysaste 59,1 prosenttia ja asukkaita per auto -ennustemallin selitysaste 48,6 prosenttia. Kaikkien mallien selittävät muuttujat ovat erittäin merkitseviä vähintään 0,001 asteen merkitsevyystasolla, lukuun ottamatta kerrosala per auto -mallin selittävää muuttujaa $savu_{pp_a}$ (potentiaalinen työpaikkasaavutettavuus polkupyörällä suhteessa autoiluun), joka on tilastollisesti melkein merkitsevä 0,05 asteen merkitsevyystasolla. Muuttuja päätettiin kuitenkin jättää malliin, sillä se paransi koko kerrosala per auto -mallin selitystasetta.

Kuvissa 54, 55 ja 56 on esitetty autonomistuksen vuoden 2030 ennustekartat, jotka on tehty sijoittamalla tulevaisuuden asukastiheys- ja saavutettavuusarvot edellä mainittuihin usean

muuttujan lineaarisiin regressiomalleihin. Näistä luotettavin on asuntokuntia per auto -ennuste, jonka selitysaste on 65,9 prosenttia. Malli ottaa huomioon sekä työpaikkasaavutettavuuden polkupyörällä, työpaikkasaavutettavuuden joukkoliikenteellä suhteessa autoiluun sekä alueen asukastiheyden, joilla kaikilla on positiivinen vaikutus asuntokuntien lukumäärään autoa kohti. Ennustemallissa eniten asuntokuntia per auto on vuonna 2030 Kalliossa, Töölössä, Punavuorella, Sörnäisissä ja Kampissa, joiden ennustealueilla on noin kolmesta neljään asuntokuntaa autoa kohti.

Kerrosala per auto -ennustemallissa (kuva 55 ja taulukko 13) on huomioitu asukastiheys sekä joukkoliikenteen ja pyöräilyn saavutettavuudet suhteessa autoilun saavutettavuuteen. Näillä kaikilla kolmella muuttujalla on positiivinen vaikutus kerrosalan ja autojen määrän suhteeseen. Kuvan Kuva 55 maksimiarvot sijoittuvat täten myös alueille, joilla on korkea asukastiheys ja joilta voidaan joukkoliikenteellä ja pyörällä saavuttaa paljon kohteita. Eniten asuinkerrosalaa autoa kohti on vuonna 2030 Kalliossa, Töölössä ja Punavuorella, joiden ennustealueilla on noin 300 asuinkerrosneliömetriä yhtä autoa kohti.

Asukkaita per auto -ennustemallissa (taulukko 14) on huomioitu alueen asukastiheys sekä potentiaalinen työpaikkasaavutettavuus joukkoliikenteellä suhteessa autoiluun. Malliin ei sisällytetty työpaikkasaavutettavuutta polkupyörällä, sillä se olisi heikentänyt mallin selitystasetta. Kuvassa 56 on esitetty asukkaiden määrä autoa kohti vuonna 2030. Malli on kaikista epävarmin näistä kolmesta ennustemallista, sillä sen selitysaste on vain 48,6 prosenttia. Ennustemalli osoittaa, että eniten asukkaita autoa kohti vuonna 2030 on Kalliossa, Töölössä ja Punavuorella, joiden ennustealueilla asuu mallin mukaan yli 5,5 asukasta autoa kohti vuonna 2030.

Taulukko 12. Asuntokuntia per auto -ennustemalli.

$y = a + b_1 * savu_{pp} + b_2 * as_{tih} + b_3 * savu_{jl_a}$				
Selitysaste 65,9 %				
Muuttujat	Parametri		Keskivirhe	Merkitsevyys
vakio, joka skaalaa selitettävän muuttujan arvon oikealle tasolle suhteessa muihin muuttujiin	a	0,705	0,036	$p < 0,001$
$savu_{pp}$ potentiaalinen työpaikkasaavutettavuus polkupyörällä (nopeus 12 km/h)	b_1	0,000004432	0,0000008235	$p < 0,001$
as_{tih} alueen asukastiheys neliökilometriä kohti	b_2	0,00004448	0,000007	$p < 0,001$
$savu_{jl_a}$ potentiaalinen työpaikkasaavutettavuus joukkoliikenteellä suhteessa autoiluun, prosentteina	b_3	0,034597	0,00801	$p < 0,001$

Taulukko 13. Kerrosala per auto -ennustemalli

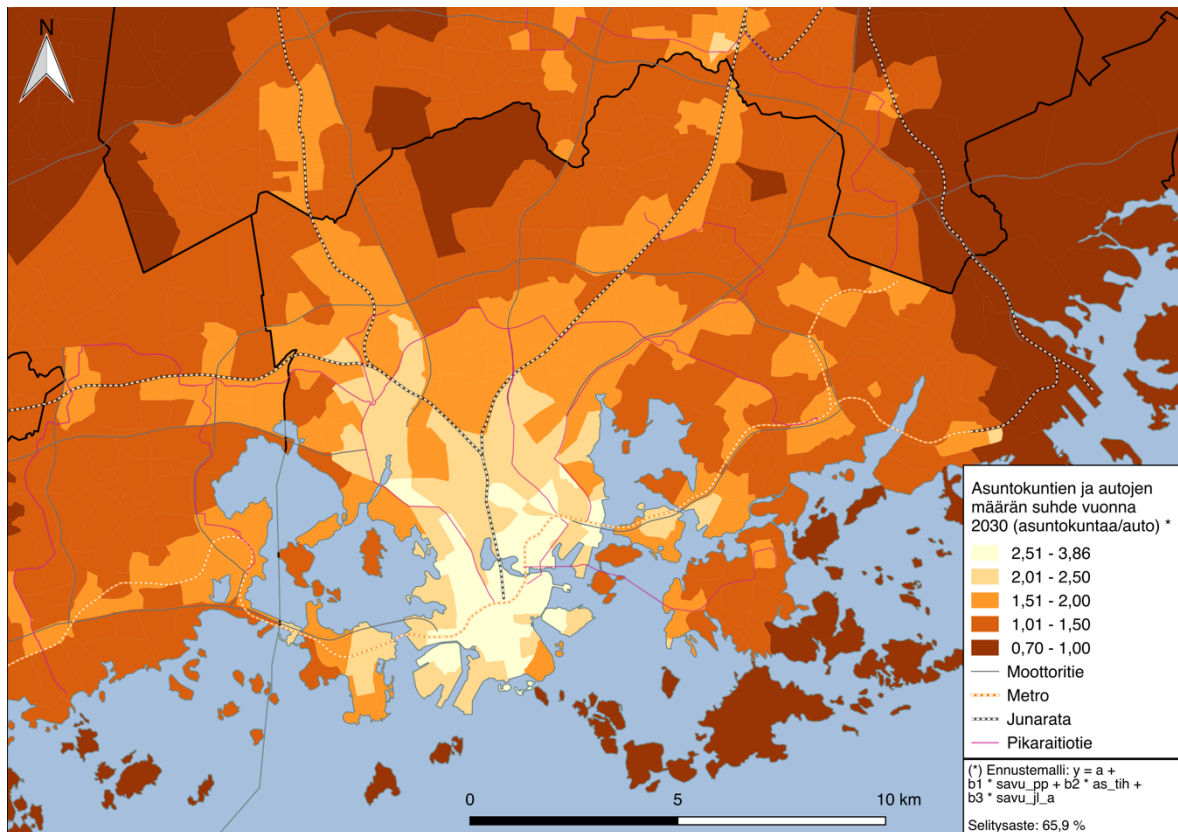
$y = a + b_1 * savu_{jl_a} + b_2 * savu_{pp_a} + b_3 * as_{tih}$				
Selitysaste 59,1 %				
Muuttujat	Parametri		Keskivirhe	Merkitsevyys
vakio, joka skaalaa selitettävän muuttujan arvon oikealle tasolle suhteessa muihin muuttujiin	a	68,977	3,555	$p < 0,001$
$savu_{jl_a}$ potentiaalinen työpaikkasaavutettavuus joukkoliikenteellä suhteessa autoiluun, prosentteina	b_1	2,837	0,842	$p < 0,001$
$savu_{pp_a}$ potentiaalinen työpaikkasaavutettavuus polkupyörällä suhteessa autoiluun, prosentteina	b_2	1,066	0,412	$p < 0,05$
as_{tih} alueen asukastiheys neliökilometriä kohti	b_3	0,004153	0,000639	$p < 0,001$

Taulukko 14. Asukkaita per auto -ennustemalli

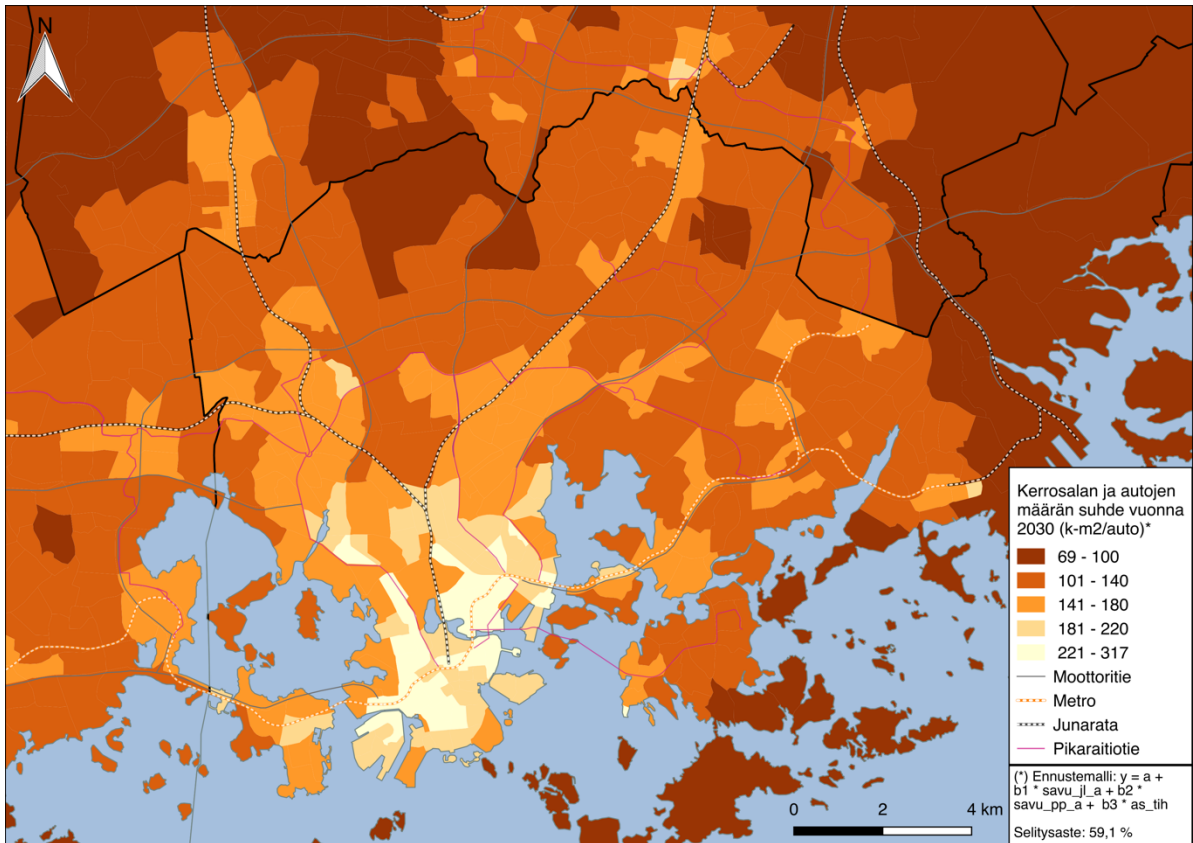
$$y = a + b_1 * savu_{jl_a} + b_2 * as_tih$$

Selitysaste 48,6 %

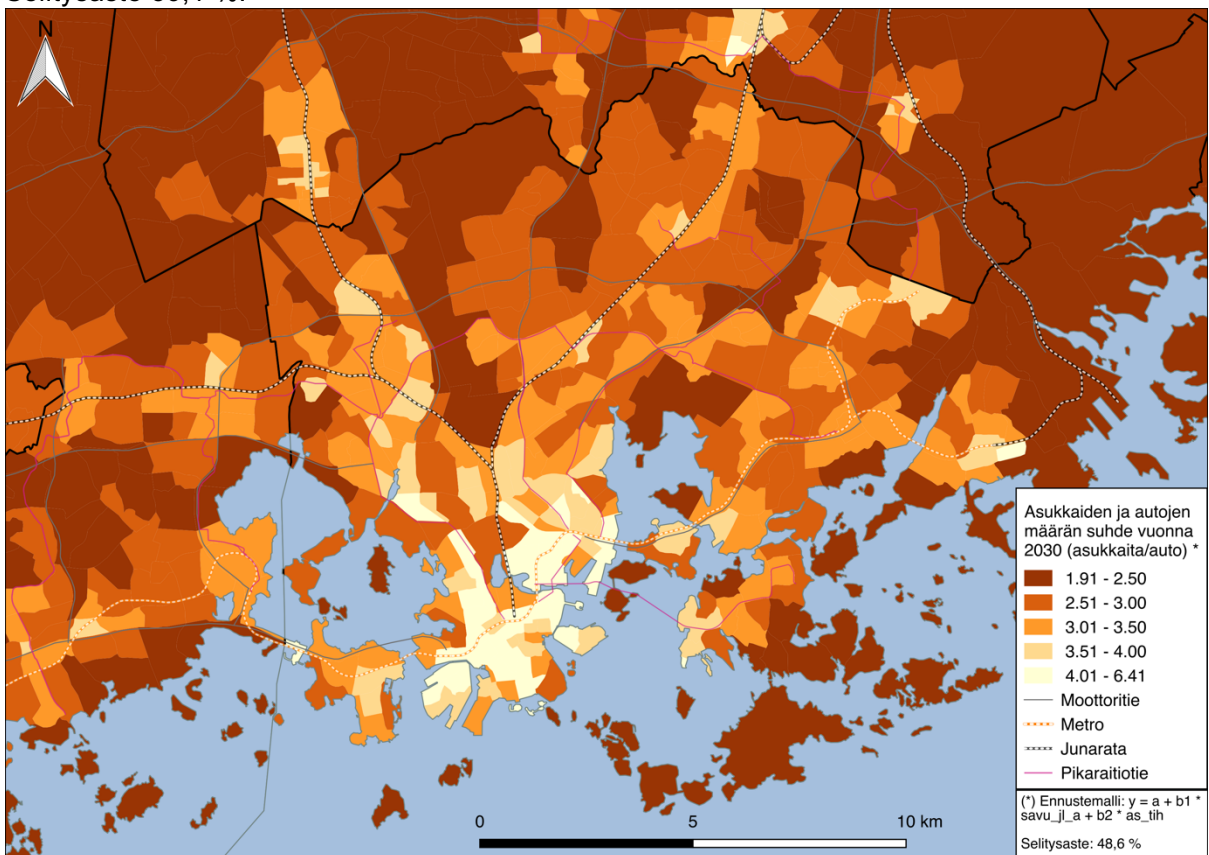
Muuttujat	Parametri		Keskivirhe	Merkitsevyys
vakio, joka skaalaa selitettävän muuttujan arvon oikealle tasolle suhteessa muihin muuttujiin	a	1,912	0,064868	$p < 0,001$
$savu_{jl_a}$ potentiaalinen työpaikkasaavutettavuus joukkoliikenteellä suhteessa autoiluun, prosentteina	b_1	0,06094	0,009768	$p < 0,001$
as_tih alueen asukastiheys neliökilometriä kohti	b_2	0,00009824	0,000013	$p < 0,001$



Kuva 54. Asuntokuntia per auto 2030 -ennustemalli. Malli perustuu taulukon 12 regressiokaavaan. Selitysaste 65,9 %.



Kuva 55. Kerrosala per auto 2030 -ennustemalli. Malli perustuu taulukon 13 regressiokaavaan. Selitysaste 59,1 %.



Kuva 56. Asukkaita per auto 2030 -ennustemalli. Malli perustuu taulukon 14 regressiokaavaan. Selitysaste 48,6 %.

6 KESKUSTELU

6.1 Lähtöaineisto

6.1.1 Pyöräverkon ja pyöräilyn matka-aikojen tarkkuus

Tutkimuksessa pyöräilyn ja kestävän liikenteen saavutettavuuden lähtöaineistona käytetty pyöräverkko kattaa pääosan tutkimusalueen pyöräilyyn soveltuvasta liikenneverkosta, mutta siitä puuttuu kuitenkin jonkin verran reittejä. Muun muassa tonttikadut, viheryhteydet sekä uudet, vuosien 2017 ja 2030 välillä rakennettavat reitit puuttuvat pyöräilyn liikenneverkosta. Täten esimerkiksi Keskuspuiston läpi kulkevia pyöräilyreittejä puuttuu aineistosta ja tulevaisuuden Kruunuvuorensiltaa pitkin kulkeva yhteys puuttuu vuoden 2030 verkosta. Tämän takia erityisesti Laajasalon työpaikkasaavutettavuus pyörällä vuonna 2030 on tuloksissa todellisuutta alhaisempi. Koko kaupungin tasolla pyöräverkko on kuitenkin riittävän tiheä saavutettavuusanalyysijä varten, eikä tonttikatujen tai viheryhteyksien puuttuminen merkittävästi heikennä tulosten validiteettia.

Pyöräilyn matka-ajat perustuvat lähtö- ja päätepisteen väliseen vakionopeuteen, joka oli lähtöaineistossa 17 km/h. Vakionopeus ei ota huomioon risteysten aiheuttamia hidastuksia tai topografian vaikutusta matka-aikoihin. Täten malleissa käytetty nopeus vastaa todellisuudessa nopeampaa pyöräilynopeutta. Tämän takia kaikkien noodiparien nopeus muutettiin kertolaskulla nopeuteen 12 km/h. Pyöräilyn mallinnuksessa käytetty nopeus vaikuttaa ratkaisevasti pyöräilyn kilpailukykyyn suhteessa autoiluun. 12 km/h valittiin, koska samaa nopeutta on käytetty myös Helsingin yliopiston vuoden 2018 matka-aikamatriiseissa hitaan pyöräilyn nopeutena, joka perustuu Helsingin kaupunkipyörien keskimääräisiin matka-aikoihin (Digital Geography Lab 2018). Todellisuudessa tutkimuksessa käytetty 12 km/h nopeus vastaa kuitenkin nopeampia matkanopeuksia, johtuen muun muassa risteyshidastuvuuksien puuttumisesta malleissa. Pyörän lukitsemiseen käytettyä aikaa ei alkuperäisessä matka-aikadatassa ollut, minkä takia kaikkiin matka-aikoihin lisättiin tässä tutkimuksessa 1 minuutti (30 sekuntia pyörän avaamiseen ja 30 sekuntia pyörän lukitsemiseen). Ei ole olemassa tutkimustietoa, miten hyvin tämä vastaa todellisuutta.

6.1.2 Autoilun matka-aika-aineiston tarkkuus

HELMET-aineiston autoilun matka-ajat ottavat sekä liikenteen kysyntä- että tarjontamekanismit huomioon. Täten matka-ajoissa on huomioitu myös liikennemäärien ja ruuhkautumisen vaikutus matka-aikoihin. Vuoden 2030 mallissa oletuksena olevat ruuhkamaksut vähentävät autoilun kysyntää, mikä johtaa malleissa ruuhkautumisen vähenemiseen ja matka-aikojen nopeutumiseen. Merkittävin HELMET-aineistojen autoilun matka-aikoihin liittyvä epävarmuustekijä on pysäköintiin kuluvan ajan puuttuminen alkuperäisessä autoilun matka-aika-aineistossa. Kaikkiin matka-aikoihin lisättiin tämän vuoksi 2 minuuttia, jotta pysäköintiin kuluva aika olisi huomioitu. On kuitenkin epäselvää, miten hyvin tämä vastaa todellista pysäköintiin kuluva-aikaa. Todennäköisesti ruuhkaisilla keskusta-alueilla pysäköintiin kuluva aika on suurempi kuin esimerkiksi esikaupunkialueilla.

HELMET-aineiston autoilun matka-ajoissa ei ole huomioitu risteyshidastuvuuksia, vaan matka-ajoissa on huomioitu ainoastaan kunkin linkin nopeus (Elolähde & Rätty 2016b: 46). Osittain risteyshidastuvuudet ovat kuitenkin mukana eri katutyypin hidastuvuusominaisuuksissa. HELMET-tarjontamalliraportissa on tarkasteltu matka-aikojen ennusteita ja toteutuneita matka-aikoja vertailemalla Liikenteen sujuvuus Helsingissä vuonna 2011 -raportin keskimääräisiä ajoaikoja Helsingin sisäisille yhteysväleille ennustettuihin matka-aikoihin. Ennustettujen ja toteutuneiden matka-aikojen eroja on tarkasteltu 17 yhteysvälillä, joista 14 kohdalla ennustettu ja todellinen matka-aika poikkeavat toisistaan alle 15 prosenttia (Elolähde & Rätty 2016b: 64). Täten autoliikenteen ennustemalli vastaa melko hyvin todellisuutta.

6.1.3 Joukkoliikenteen matka-aikojen tarkkuus

Joukkoliikenteen HELMET-matka-aikamallien tarkkuutta suhteessa todellisiin havaittuihin matka-aikoihin on tutkittu HELMET-tarjontamalliraportissa (Elolähde & Rätty 2016b). Vertailussa on tutkittu simulointimallien bussiliikenteen matka-aikoja todelliseen, matkakorttiaineistosta saatuun mittausdataan 39 yhteysvälillä pääkaupunkiseudulla. Tulosten mukaan bussien matka-ajat ovat keskimäärin melko hyvin arvioituja. Kuitenkin 44 prosentilla vertailuista yhteysväleistä todellisten matka-aikojen keskiarvo eroaa simuloituista matka-ajoista yli 20 prosenttia (Elolähde & Rätty 2016b: 65). Simuloidut matka-ajat ovat keskimäärin

hieman pidempiä kuin todelliset, mikä viittaisi siihen, että HELMET-aineiston joukkoliikenteen matka-ajat ovat hieman todellista pidempiä. Myös vertailemalla MetropAccess- ja HELMET-malleilla luotuja saavutettavuusmittareita, voidaan havaita, että MetropAccess-malleissa joukkoliikenteen työpaikkasaavutettavuus suhteessa autoon on korkeampi. Vuoden 2015 MetropAccess-mallissa joukkoliikenteellä voidaan saavuttaa maksimissaan noin 70 prosenttia autolla saavutettavista työpaikoista (liite 30) kun taas vuoden 2017 HELMET-mallissa joukkoliikenteen ja autoilun työpaikkasaavutettavuuden suhde on maksimissaan 41 prosenttia (liite 26).

HELMET-aineiston joukkoliikenteen matka-ajoissa oletuksena on, että matkustaja saapuu pysäkille satunnaiseen aikaan kello 7 ja 9 välillä. Täten matka-ajat vastaavat MetropAccess-matka-aikamatriisien total time -saraketta, joka sisältää mahdollisen kotona odottelun reitin alussa (Digital Geography Lab 2018). Total time -matka-ajat ovat keskimäärin pidempiä kuin sellaiset matka-ajat, joissa matkustajan oletetaan tiedostavan joukkoliikenteen aikataulut ja optimoivan kotoa lähtemisen siten, että pysäkillä odottelu on mahdollisimman vähäistä. Total time -reitityksen etuna on kuitenkin, että siinä myös joukkoliikenteen vuorovälien erot otetaan sisäisesti huomioon, vaikka reititys pidentääkin joukkoliikenteen matka-aikoja suhteessa autoiluun. Alueilla, joilla vuoroväli tiheys on suuri, tiheä vuoroväli kompensoi pysäkille lähtemisen ajallista satunnaisuutta, kun taas harvemman vuorovälin alueiden saavutettavuus on heikompi. Täten alueiden välisten saavutettavuuden erojen esittämisessä total time -matka-aika esittää joukkoliikenteen saavutettavuutta kokonaisvaltaisemmin kuin matka-aika, joka alkaa lähdetessä kotoa liikkeelle.

HELMET-mallien joukkoliikenteen matka-aikojen tarkkuuteen vaikuttaa myös ennustealueiden koko ja lähtöpisteen sijainti suhteessa lähimmän joukkoliikennepysäkin sijaintiin. HELMET-malleissa reititysten lähtöpiste sijaitsee yleensä kunkin alueen painopisteessä. Koska pienalueet eroavat toisistaan niiden koon suhteen, joillakin ennustealueilla painopiste saattaa sijaita kauempana joukkoliikennepysäkistä kuin toisilla, mikä voi vaikuttaa joukkoliikenteen ennustettujen matka-aikojen luotettavuuteen suhteessa alueen todellisiin matka-aikoihin.

6.1.4 Autonomistusaineiston luotettavuus

Tässä tutkimuksessa käytetty autonomistusaineisto perustuu vuoden 2013 perusaluekohtaisiin tilastoihin asuntokuntien autonomistuksesta. Aineistossa on eriteltyä autottomien, yhden auton omistavien sekä kahden tai useamman auton omistavien asuntokuntien lukumäärät pääkaupunkiseudun perusalueilla. Tutkimuksessa kahden tai useamman auton omistavien asuntokuntien todellinen autojen määrä laskettiin kertomalla asuntokuntien määrä 2,334:llä, joka on HSL:n liikkumistutkimuksen mukaan kahden tai useamman auton omistavien asuntokuntien keskimääräinen autojen lukumäärä. Täten oletuksena oli, että vakioluku on sama kaikilla ennustealueilla. Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan ollut tietoa siitä, miten paljon kahden tai useamman auton omistavien asuntokuntien todellinen autojen määrä vaihtelee eri alueilla edellä mainitusta 2,334:stä.

Tutkimuksessa käytetyn SeutuCD'17:n aineiston perusteella autojen kokonaislukumäärä Helsingissä vuonna 2013 oli 186 495 autoa ja väestön lukumäärä 589 665 asukasta, joten Helsingin autotiheys on aineiston perusteella 316 autoa per 1000 asukasta. Aineisto sisältää SeutuCD:n ohjekirjan mukaan henkilöautojen lisäksi myös pakettiautot, kuorma-autot ja erikoisautot sekä väliaikaisesti liikennekäytöstä poistettut ajoneuvot ja työsuhdeautot (HSY 2018). Tilastokeskuksen PX-Web-tietokannan mukaan Helsingin asukasluku vuonna 2013 oli 612 664 asukasta (Tilastokeskus 2018). Tietokannan mukaan liikennekäytössä olevien henkilöautojen kokonaislukumäärä Helsingissä oli 206 724 henkilöautoa vuonna 2013, jolloin henkilöautotiheydeksi saadaan 337 autoa tuhatta asukasta kohti. Tilastokeskuksen tietokannassa kaikkien rekisterissä olevien (myös liikennekäytöstä poistettujen) henkilöautojen lukumäärä Helsingissä on 248 583 henkilöautoa ja kaikkien rekisterissä olevien henkilöautojen, pakettiautojen, kuorma-autojen ja erikoisautojen kokonaislukumäärä vuonna 2013 on 285 737 ajoneuvoa. Täten tässä tutkimuksessa käytetty autonomistusaineisto on Helsingin osalta 35 prosenttia pienempi kuin Tilastokeskuksen PX-Web-tietokantojen antama arvo, mikäli otetaan kaikki rekisterissä olevat ajoneuvot huomioon. Mikäli Tilastokeskuksen tietokannasta otetaan ainoastaan liikennekäytössä olevat henkilöautot huomioon, on tässä tutkielmassa käytetty autojen lukumäärä 11 prosenttia pienempi kuin Tilastokeskuksen antama arvo ja autotiheys ainoastaan 6,7 prosenttia Tilastokeskuksen vastaavaa pienempi. Täten tässä tutkielmassa käytetyn autonomistusaineiston autotiheys vastaa melko hyvin Tilastokeskuksen PX-Web-tietokannan antamaa liikennekäytössä olevien henkilöautojen autotiheyttä Helsingissä vuonna 2013.

6.2 Käytetyt menetelmät

6.2.1 Kokonaissaavutettavuusmallit olettavat, että matkaryhmien osuudet ja impedanssifunktiot pysyvät samoina myös tulevaisuudessa

Tässä tutkimuksessa käytetyt impedanssifunktiot perustuvat vuoden 2012 matka-aikoihin, mutta niillä on ennustettu vuoden 2030 saavutettavuutta. Täten on oletettu, että impedanssifunktiot pysyvät samoina myös tulevaisuudessa. Todellisuudessa todennäköisesti näin ei kuitenkaan ole, vaan etäisyysvastukset muuttuvat eri aikoina johtuen muun muassa maankäytön tai liikennejärjestelmän muutoksista tai sosioekonomisesta kehityksestä, kuten tulojen tai mieltymysten muutosten vuoksi. Myös matkaryhmien osuudet voivat todellisuudessa muuttua. Esimerkiksi mikäli etätyön merkitys tulevaisuudessa lisääntyy, voi olla, että työtä tehdään tulevaisuudessa enemmän kotona, jolloin työmatkojen osuus vähenee nykyisestä noin neljäsosasta kaikista kotiperäisistä matkoista. Digitalisaatio, tekoälyn kasvu ja työn tehostuminen taas saattavat tulevaisuudessa johtaa vapaa-ajan lisääntymiseen ja sitä kautta esimerkiksi ostos-, asiointi-, vierailu- ja harrastusmatkojen suurempaan osuuteen kaikista matkoista.

6.2.2 Python-komentosarjojen avulla voidaan automatisoida laskentaprosesseja ja luoda entistä parempia saavutettavuusmittareita

Perinteisesti paikkatietojärjestelmällä on tehty yksittäisiä laskentaprosesseja, eikä sitä ole suunniteltu iteratiivisia prosesseja varten. Yhdistämällä Python-komentosarjat paikkatietojärjestelmään, voidaan automatisoida paikkatiedon laskentaprosesseja, mikä mahdollistaa entistä monipuolisempien saavutettavuusmittareiden luonnin. Tässä tutkimuksessa luotujen Python-funktioden avulla on voitu laskea erilaisia saavutettavuusmittareita suurelle joukolle alueita. Perinteisesti saavutettavuus on esitetty valitusta pisteestä käsin esimerkiksi esittämällä matka-aika- tai etäisyystiedot yhdestä pisteestä muihin tutkimusalueen pisteisiin. Tässä tutkimuksessa on kehitetty Python-funktioita, joiden toistolausekkeiden avulla on voitu yhdistää matka-aika- ja maankäyttöaineistot ja laskea kaikkien tutkimusalueen pienalueiden välille sijaintiperusteinen saavutettavuus erilaisten saavutettavuusmittareiden avulla. Täten jopa satojen tuhansien laskutoimitusten tekeminen on mahdollista tehdä muutamissa minuuteissa, mahdollistaen entistä tarkemman ja laajemman saavutettavuusaineiston käytön päätöksenteon tukena.

6.2.3 Potentiaalisen saavutettavuuden impedanssi tulisi valita aina suhteessa tutkittavaan matkakohteeseen

Potentiaalisen saavutettavuuden etäisyysvastusten määrittelemisessä tulisi aina huomioida matkaryhmien todellisten matka-aikojen kumulatiivinen jakauma. Etäisyysvastuksiin vaikuttavat muun muassa kohteiden spatiaalinen jakautuminen ja kohteiden tiheys tutkimusalueella sekä matkustajien kohteisiin asettamat arvostukset ja preferenssit. Tämän tutkimuksen perusteella matkakohteiden etäisyysvastukset eroavat toisistaan merkittävästi. Esimerkiksi päiväkodin tai päivittäistavarakaupan etäisyysvastus on huomattavasti suurempi kuin esimerkiksi työpaikan tai vierailukohteen. Todelliset matka-ajat ovat käytännössä ainoa tapa löytää kuhunkin matkakohteeseen sopivin impedanssi. Koska todennäköisesti eri kohteiden impedanssit ovat suhteellisen samanlaisia samankokoisissa kaupungeissa, voidaan tämän tutkimuksen tuloksena saatuja impedansseja hyödyntää myös muiden Helsingin kokoisten kaupunkien saavutettavuustutkimuksissa.

6.2.4 Saavutettavuusmittareita käytettäessä tulee tiedostaa matka-aikojen suunta

Saavutettavuuden mittaamisessa tulisi kiinnittää aina huomiota matka-aikojen suuntaan. Kuten kappaleessa 2.3.1 todettiin, lähtökohtaisesti tulisi erottaa toisistaan ulospäin ja sisäänpäin suuntautuva saavutettavuus. Myös tämä tutkimus vahvistaa tätä käsitystä, sillä etenkin ruuhka-ajan autoliikenteessä matkan suunnalla voi olla merkittävä vaikutus saavutettavuusarvoihin. Liitteissä 2-30 esitetyissä matka-aika- ja saavutettavuuskartoissa nähdään, että autoliikenteen osalta saapuvien ja lähtevien matka-aikojen välillä on suuria eroja. Vuoden 2017 aamuruuhkan työpaikkasaavutettavuusindeksi autolla käyttäen alueelle saapuvia matka-aikoja on maksimissaan 72,3, kun taas lähtevien matka-aikojen työpaikkasaavutettavuusindeksi autolla on maksimissaan 99,1 (liitteet 20 ja 21). Ruuhkamaksut nopeuttavat Helsingissä aamuruuhka-aikaan etenkin alueelle saapuvia autoliikenteen matka-aikoja (liite 11). Sen sijaan alueelta lähtevät autoliikenteen matka-ajat eivät käytännössä nopeudu Helsingissä vuosien 2017 ja 2030 välillä, sillä niihin ei nykyhetkenäkään vaikuta tieverkon ruuhkaisuus (liite 10). Joukkoliikenteen matka-ajoille matkan suunnalla ei ole samalla tavalla vaikutusta kuin autoliikenteen matka-ajoille, sillä niitä ruuhkaisuus koskettaa vähemmän, lukuun ottamatta joitakin bussilinjoja. Pyöräliikenteen matka-ajoille matkan suunnalla ei tässä tutkimuksessa ole lainkaan vaikutusta, vaikka todellisuudessa esimerkiksi topografia voi vaikuttaa

pyöräliikenteen matka-aikoihin merkittävästi, riippuen matkan suunnasta. Tässä tutkimuksessa käytettyjen HELMET-saavutettavuusmallien matka-aikoina on käytetty alueelta lähteviä matka-aikoja, sillä tutkimuskohteena on ollut kotiperäinen saavutettavuus. Mikäli matkojen suuntana olisi käytetty alueelle saapuvia matka-aikoja, olisi joukkoliikenne ollut Helsingissä vuoden 2017 malleissa kilpailukykyisempi autoon nähden, mutta vuoden 2030 saavutettavuuteen suunnalla ei juurikaan olisi ollut vaikutusta ruuhkamaksujen takia.

6.2.5 Tässä tutkielmassa käytetyt saavutettavuusmittarit eivät ota liikenteen tarjonnan temporaalisia eroja huomioon

Autonomistusta mallintavat saavutettavuusmittarit perustuvat arkipäivän aamuruuhka-ajan (kello 7-9) matka-aikoihin. Täten mittarit eivät ota huomioon saavutettavuuden temporaalisia eroja eri vuorokaudenaikoina tai eri viikonpäivinä. Esimerkiksi vuorotyötä tai yötyötä tekevien työpaikkasaavutettavuus on tässä tutkielmassa jätetty analyysin ulkopuolelle. Saavutettavuuden temporalisen mittakaavan huomioon ottaminen on kuitenkin nykyisessä 24/7 -yhteiskunnassa yhä tärkeämmässä roolissa, kun ihmiset elävät entistä enemmän toisistaan poikkeavissa vuorokausirytmeissä (Delafontaine et al. 2011). Mikäli dataa olisi käytettävissä eri vuorokaudenaikojen matka-ajoista ja niiden ennusteista, voitaisiin saavutettavuusmittareiden temporalisuutta tarkentaa paremmin todellisuutta vastaaviksi.

6.2.6 Lineaarisilla regressiomalleilla voidaan ennustaa tulevaisuuden autopaikkatarvetta, mikäli oletetaan autonomistusindikaattoreiden ja niitä mallintavien muuttujien välisten suhteiden pysyvän samoina myös tulevaisuudessa

Lineaaristen regressiomallien etuna on, että niiden avulla voidaan tutkia yhtä aikaa monen selittävän muuttujan vaikutusta autonomistukseen. Tässä tutkimuksessa usean muuttujan lineaarisiin regressiomalleihin pyrittiin sisällyttämään ne muuttujat, joiden yhteisvaikutuksena ennustemallin selitysaste on suurin. Ennustemallien tulkinnassa on kuitenkin huomioitava, että ne olettavat autonomistuksen ja sitä mallintavien muuttujien välisten suhteiden pysyvän myös tulevaisuudessa samoina. Lisäksi hajontakuvioissa voidaan havaita, että autonomistuksen hajonta on sitä suurempaa, mitä korkeampi kestävä liikenteen saavutettavuus on. Tämä viittaisi siihen, että etenkin hyvän kestävä liikenteen saavutettavuuden alueilla myös muut muuttujat saavutettavuuden lisäksi vaikuttavat vahvasti autonomistukseen.

6.3 Tulokset ja niiden merkitys

6.3.1 Potentiaaliset saavutettavuusmittarit ovat realistisempia kuin kumulatiiviset saavutettavuusmittarit

Tässä työssä käytetyt potentiaaliset saavutettavuusmittarit ottavat huomioon kohteen etäisyyden lähtöpisteestä, minkä takia ne vastaavat todellista matkustuskäyttäytymistä paremmin kuin kumulatiiviset saavutettavuusmittarit. Kumulatiivisten saavutettavuusmittareiden etuna on kuitenkin, että ne antavat tuloksena helposti ymmärrettäviä absoluuttisia kumulatiivisia kertymiä, kuten esimerkiksi työpaikkojen tai väestön määrän 30 minuutin matka-ajan sisällä. Koska potentiaalisissa mittareissa absoluuttiset työpaikka- tai väestökertymät kerrotaan aina etäisyyskohtaisella painokertoimella, mittareista häviää samalla kumulatiivisten saavutettavuusmittareiden sisällyttämä tieto isokroonin sisällä olevien maankäyttökohteiden absoluuttisesta lukumäärästä.

Kumulatiivisten mittareiden ongelmana voi joissain tapauksissa olla se, että saavutettavuuden huippu sijoittuu lähelle tutkimusalueen maantieteellistä painopistettä. Näin voi käydä, mikäli valittu matka-ajan raja-arvo on suuri suhteessa alueen kokoon ja kulkumuodon nopeuteen. Tämä saattaa olla osittain syynä sille, minkä takia polkupyörällä 30 minuutin kumulatiivisen työpaikkasaavutettavuuden huippu sijoittuu Ruskeasuolle eikä ydinkeskustaan, jossa työpaikkoja on eniten. Potentiaalisia saavutettavuusmittareita käytettäessä taas parhaan työpaikkasaavutettavuuden alue polkupyörällä sijoittuu Töölönlahden ja Rautatieaseman lähetyville johtuen lähistöllä sijaitsevista työpaikkakeskittymistä. Täten potentiaalisen saavutettavuusmittarin voidaan todeta mallintavan saavutettavuutta kumulatiivista saavutettavuusmittaria realistisemmin.

6.3.2 Julkisen liikenteen saavutettavuudella on selvä yhteys autonomistukseen, mutta eri saavutettavuusmallien antamat tulokset vaihtelevat keskenään

Tulosten perusteella autojen määrä korreloi vahvasti joukkoliikenteen saavutettavuuden kanssa. Tutkituista muuttujista ainoastaan kerrostalojen ja pientalojen osuus alueen kerrosalasta korreloi autonomistuksen kanssa vahvemmin kuin joukkoliikenteen saavutettavuus. Erityisesti joukkoliikenteen ja autoilun saavutettavuuden välinen suhde näyttäisi selittävän autonomistusta

pääkaupunkiseudulla. MetropAccess-mallit antavat jonkin verran korkeampia korrelaatiotuloksia kuin HELMET-mallit. HELMET 2017-mallin kanssa vertailukelpoisin MetropAccess-malli on vuoden 2015 ruuhka-ajan malli, sillä molemmissa joukkoliikennelinjastoissa on Kehärata, mutta ei vielä Länsimetroa. MetropAccess 2015 -mallin joukkoliikenteen ja autoilun työpaikkasaavutettavuuden suhteen ja autoa per asuntokunta -muuttujan välinen Pearson-korrelaatio on 0,889, kun taas HELMET 2017 -mallin joukkoliikenteen ja autoilun työpaikkasaavutettavuuden suhteen ja autoa per asuntokunta -muuttujan välinen Pearson-korrelaatio on 0,732 (taulukko 11). MetropAccess- ja HELMET-malleilla lasketut potentiaaliset saavutettavuusmittarit antavat myös selvästi eri suuruisia tuloksia. MetropAccess 2015 -mallissa joukkoliikenteellä voidaan maksimissaan saavuttaa 70,4 prosenttia autolla saavutettavista työpaikoista, kun taas HELMET 2017-mallissa voidaan joukkoliikenteellä saavuttaa maksimissaan 40,9 prosenttia autolla saavutettavista työpaikoista (liitteet 26 ja 30). Ero saattaa johtua mallien erilaisista laskentaperiaatteista, mutta tämän tutkimuksen puitteissa ei niihin ollut mahdollista perehtyä tarkemmin. MetropAccess -mallien joukkoliikenteen matka-ajat perustuvat HSL:n reittioppaaseen ja autoilun matka-ajat nk. kelluvan auton mittaustuloksiin (Toivonen et al. 2014a), kun taas HELMET-mallien joukkoliikenteen ja autoilun matka-ajoissa on otettu huomioon sekä liikenneverkon kysyntä- että tarjontamallit, jotka molemmat vaikuttavat matka-aikoihin (Elolähde & Rätty 2016a; Elolähde & Rätty 2016b).

Myös mallien erilainen aluejako todennäköisesti vaikuttaa mallien antamien tulosten eroihin. MetropAccess-matriisien solut ovat jakautuneet 250 metrin kokoisiin ruutuihin, joita on pääkaupunkiseudun alueella yhteensä 13 231 kappaletta, kun taas HELMET-mallien aluejako perustuu Helsingin työssäkäyntialueen pienalueisiin, joita on pääkaupunkiseudulla yhteensä 901 kappaletta. Täten HELMET-mallien aluejako on huomattavasti väljempi MetropAccess-aluejakoon verrattuna. Molemmissa malleissa reititysten lähtö- ja päätepisteet sijoittuvat kunkin alueen painopisteeseen. Koska HELMET-mallien alueita on suhteellisesti vähemmän kuin MetropAccess-alueita, on HELMET-malleissa yksittäisen keskipisteen liikenteellisellä sijainnilla suurempi merkitys saavutettavuusmallien tuloksiin kuin MetropAccess-malleissa. Tässä suhteessa MetropAccess-mallit ovat realistisempia, sillä niiden pistetiheys on suurempi.

6.3.3 Tulotaso ei selitä autonomistusta yhtä paljon kuin aiemmissa tutkimuksissa

Perinteisesti tulotasoa on pidetty merkittävimpana autonomistukseen vaikuttavana tekijänä. Kuitenkin viime vuosikymmeninä monissa tutkimuksissa on havaittu tulotason merkityksen vähenevän autonomistuksen alueellisessa vaihtelussa. Tässä tutkimuksessa tutkituista autonomistukseen vaikuttavista tekijöistä tulotason vaikutus autonomistuksen alueellisiin eroihin oli kaikista heikoin. Alueen keskitulo selittää tulosten mukaan ainoastaan 18,1 prosenttia autotiheyden alueellisesta vaihtelusta ja 16,3 prosenttia autoa per asuntokunta - muuttujan alueellisesta vaihtelusta.

6.3.4 Ennustemallien mukaan joukkoliikenteen saavutettavuus suhteessa autoiluun paranee

Joukkoliikenneverkon investoinnit parantavat monilla alueilla joukkoliikenteen työpaikkasaavutettavuutta suhteessa autoiluun huomattavasti, mutta autolla voidaan myös tulevaisuudessa saavuttaa samassa ajassa merkittävästi enemmän kohteita kuin joukkoliikenteellä. Erityisen paljon joukkoliikenteen saavutettavuus suhteessa autoiluun paranee Laajasalon Kruunuvuorenrannassa, sillä suunnitteilla olevaa Kruunusiltaa pitkin pääsevät tulevaisuudessa kulkemaan raitiovaunut, mutta eivät yksityisautot, mikä lyhentää joukkoliikenteen matka-aikoja keskustaan yli 20 minuutilla nykyiseen verrattuna. Tulosten mukaan myös Koivusaassa, Sompasaassa, Lauttasaassa, Hermannissa ja Malmin lentokentällä joukkoliikenteen työpaikkasaavutettavuus suhteessa autoiluun paranee huomattavasti. Näihin vaikuttavat monet pikaraitiotiet, kuten Kalasataman ja Viikin-Malmin pikaraitiotiet sekä Länsimetro, jota ei vielä vuoden 2017 mallissa ollut mukana. Myös monien muiden uusien pikaraitioteiden, kuten Vihdintien, Tuusulanväylän ja Raide-Jokerin varrella joukkoliikenteen saavutettavuus suhteessa autoiluun paranee. Osittain joukkoliikenteen työpaikkasaavutettavuuden paraneminen johtuu myös maankäytön sijoittumisesta hyvien joukkoliikenneyhteyksien äärelle, sillä monet työpaikkavaltaiset rakennuskohteet painottuvat joukkoliikenteen solmukohtiin, kuten esimerkiksi Kalasatamaan tai Pasilaan.

Myös autoilun keskimääräiset matka-ajat nopeutuvat vuoteen 2030 mennessä mallissa oletuksena olevien ruuhkamaksujen käyttöönoton seurauksena. Tulosten perusteella aamuruuhkan alueelta lähtevissä matka-ajoissa muutosta ei juurikaan näy Helsingissä, mutta

alueelle saapuvien matkojen matka-ajat ovat Helsingissä keskimäärin noin 2-5 minuuttia nopeampia kuin vuonna 2017. Tämän johdosta autoilu pysyy myös tulevaisuudessa huomattavasti nopeampana kulkumuotona kuin joukkoliikenne. Lähes kaikilta Helsingin pienalueilta käsin autolla voidaan saavuttaa vuonna 2030 vähintään kolme kertaa yhtä paljon työpaikkoja samassa ajassa kuin joukkoliikenteellä.

6.3.5 Ennuste tulevaisuuden autonomistuksesta perustuu saavutettavuuden ja väestötiheyden alueellisiin muutoksiin, eikä ota muita autonomistuksessa tapahtuvia trendejä tai muita autonomistukseen vaikuttavia tekijöitä huomioon

Kappaleessa 5.4 esitetyt kartat vuoden 2030 autonomistuksesta perustuvat oletukselle, että autonomistuksen ja saavutettavuuden sekä autonomistuksen ja väestötiheyden suhde pysyvät myös tulevaisuudessa samana. Täten ennusteissa on huomioitu ainoastaan saavutettavuudessa ja väestötiheydessä tapahtuneet muutokset vuosien 2017 ja 2030 välillä, eikä muita tulevaisuuden trendejä ole otettu huomioon. Kuten Bäckström et al. (2017) toteavat, tulevaisuuden autopaikkatarve saattaa olla tulevaisuudessa jopa 70 prosenttia nykyistä pienempi, mikäli kaikki näköpiirissä olevat tulevaisuuden trendit toteutuvat. Autopaikkatarpeen vaihteluväli on kuitenkin huomattavan suuri, vaihdellen nykyiseen verrattuna +5 ja -70 prosentin välillä. Tämän takia Bäckströmin ja kumppaneiden arvioita ei tässä tutkimuksessa otettu huomioon, vaan keskityttiin tarkastelemaan ainoastaan saavutettavuuden vaikutuksia autopaikkatarpeeseen. Todennäköistä on kuitenkin, että tulevaisuuden autopaikkatarve on joillakin alueilla vielä tässä tutkimuksessa esitettyjä ennusteita pienempi.

Tässä tutkimuksessa esitetyistä yhden selittävän tekijän regressiomalleista luotettavin on ennuste tulevaisuuden asuntokuntien ja autojen määrän suhteesta, sillä sen selitysaste R^2 on korkein. Sen sijaan ennuste tulevaisuuden asukkaiden ja autojen määrän suhteesta sisältää huomattavia epävarmuuksia, sillä tutkimuksessa tehdyn lineaarisen regressiomallin mukaan joukkoliikenteen saavutettavuus selittää asukkaiden määrä per auto -muuttujasta ainoastaan 36 prosenttia. Usean muuttujan regressiomalleista luotettavin on asuntokuntia per auto -ennustemalli, jonka selitysaste R^2 on noin 66 prosenttia. Ennustemalli ottaa huomioon sekä tulevaisuuden väestötiheyden että työpaikkasaavutettavuuden autolla, pyörällä ja joukkoliikenteellä.

Vuoden 2030 autonomistuksen ennustemalleista saisi vielä huomattavasti tarkemman, mikäli olisi mahdollisuus ottaa myös muita autonomistukseen vaikuttavia tekijöitä huomioon saavutettavuuden ja väestötiheyden lisäksi. Mikäli käytettävissä olisi esimerkiksi ennusteita alueiden kerrostalojen ja pientalojen suhteellisesta osuudesta, alle 15-vuotiaiden osuudesta, asuntokuntien keskikoosta tai asumisväljyydestä, voitaisiin ennustemalleja vielä tarkentaa nykyisestä, jolloin voitaisiin saada jopa yli 90 prosentin selitysasteita, kuten Elolähteen ja Rädyn autonomistuksen osa-aluemalleissa (Elolähde & Rätty 2016a).

6.3.6 Tulosten merkitys Helsingin kaupungin pysäköintiin ja pysäköintipolitiikkaan

Tämän tutkielman tavoitteena oli tuottaa tietoa Helsingin kaupungin päätöksenteon tarpeisiin ja arvioida autonomistusta ja autopaikkatarvetta vuonna 2030. Tuloksena saatujen autonomistuksen ennustemallien selitysasteet ovat parhaimmillaan lähes 70 prosenttia, joten niitä voidaan tämän perusteella käyttää taustatietona esimerkiksi asemakaavojen pysäköintimääräyksien asettamista varten. Ennustekarttoja voidaan käyttää esimerkiksi pysäköintipaikkojen minimi- tai maksiminormien asettamiseen, jolloin normien rajoiksi asetettaisiin miniminormien tapauksessa kunkin luokan yläraja ja maksiminormien tapauksessa kunkin luokan alaraja. Tuloksena saatujen paikkatietomuotoisten shapefile-tiedostojen avulla voidaan luokkien raja-arvoja myös muuttaa haluamaan suuntaan paikkatieto-ohjelmassa. Ennustemalleista luotettavimmat ovat kerrosala per auto ja asuntoja per auto -ennustemallit (kuvat 37, 39, 43, 45, 54 ja 55). Näiden selitysasteet ovat noin 48-66 prosentin väliltä. Tässä tutkimuksessa autonomistusennusteiden tulosmuuttujat olivat kerrosala per auto, asuntokuntia per auto sekä asukkaita per auto. Mikäli halutaan, voidaan tulosmuuttujat myös muuttaa käänteisluvuiksi, jolloin saadaan tietää, montako autopaikkaa tulisi rakentaa esimerkiksi yhtä asuntoa kohti. Asukkaita per auto -ennustemallit ovat selitysasteiden perusteella vähemmän luotettavia kuin muut ennustemallit, mikä johtuu selitettävän muuttujan asukkaita per auto suuresta keskihajonnasta verrattuna kahteen muuhun autonomistusindikaattoriin. Hajontakuvioista kuvista 36, 38, 40, 42, 44, 46, 48, 49 ja 50 voidaan havaita, että pisteet ovat huomattavasti enemmän hajallaan kuvioiden oikealla laidalla, eli korkean kestävän liikenteen tai joukkoliikenteen saavutettavuuden alueella suhteessa autoilun saavutettavuuteen. Toisin sanoen, autonomistuksen ennustaminen on sitä epävarmempaa, mitä parempi joukkoliikenteen

palvelutaso. Tämä aiheuttaa epävarmuutta lopullisiin tuloksiin ja tulisi ottaa huomioon tulosten arvioinnissa ja soveltamisessa tulevaisuudessa.

Helsingin tämän hetkisisä pysäköintinormeissa on esitetty erikseen pysäköintipaikkamäärien laskentaohjeet kerrostaloille, pientaloille, townhouse-pientaloille, vuokra-asunnoille sekä erityisasumiselle, kuten opiskelija-asunnoille. Tässä tutkimuksessa ei ollut mahdollista analysoida eri talotyyppien autonomistusta, johtuen siitä, että tutkimuksessa käytetty autonomistusaineisto oli summattu perusalueiden tasolle, eikä siinä ollut tietoa eri asumistyyppien autonomistuksesta. Kappaleessa 5.4.4 esitelty usean muuttujan regressiomallit ottavat kuitenkin huomioon myös väestötiheyden, mitä voidaan pitää kerrostaloasumisen proksimuuttujana. Niillä alueilla, joilla väestötiheys on suuri, on todennäköisesti myös paljon kerrostaloja suhteessa alueen asuntokantaan. Täten kuvien 53 ja 54 autonomistusestimateissa on sitä suurempi autonomistus, mitä suurempi väestötiheys ja mitä parempi kestävä liikenteen työpaikkasaavutettavuus.

6.4 Jatkoehdotukset

6.4.1 Työpaikka-alueiden pysäköintitarpeen määrittely

Tässä tutkielmassa työpaikkapysäköinnin tarpeen määrittely jäi tutkimuksen ulkopuolelle. Työpaikkapysäköinnin suunnittelu on kuitenkin tärkeä osa pysäköintipolitiikkaa, ja kestävä liikenteen saavutettavuuden avulla voidaan myös työpaikkapysäköinnin tarvetta mallintaa tulevaisuudessa. Työpaikkapysäköinnin ja asukaspysäköinnin tarpeiden kokonaisvaltaisella tarkastelulla voidaan myös saavuttaa synergiaetuja, sillä asukaspysäköinnin ja työpaikkapysäköinnin kysynät sijoittuvat eri vuorokaudenaikoihin. Asukaspysäköinnin tarve on suurimmillaan yöllä, kun taas työpaikkapysäköinnin kohdalla kysyntäpiikki sijoittuu keskipäivään. Koska useilla alueilla on sekoittuneena sekä asuin-, työpaikka- että palvelutoimintoja, pysäköinnin vuorottaiskäytön avulla voitaisiin hyödyntää kaikkien näiden eri toimintojen eri kellonaikoihin sijoittuvaa pysäköintitarvetta.

6.4.2 Pyöräpysäköinnin tarpeen määrittely

Tässä tutkielmassa ei tarkasteltu pyöräpysäköinnin tarvetta, mutta myös sen tarkastelu voisi olla teoriassa mahdollista. Pyöräpysäköinnin suunnittelu vaatisi kuitenkin todennäköisesti ainakin paikkatietoaineistoa pyörän omistuksesta, mitä ei tähän tutkimukseen ollut saatavilla. Lisäksi on epäselvää, mitkä tekijät vaikuttavat asukaspyöräpysäköinnin kysyntään. Onko asuintonttien pyöräpysäköinnin tarve riippuvaista saavutettavien kohteiden määrästä, vai onko pysäköintitarve samanlaista eri alueilla? Helsingin vuoden 2015 pysäköintipaikkojen laskentaohjeessa vaadittavien pyöräpysäköintipaikkojen määrä on sama kaikilla alueilla, 1 pyöräpysäköintipaikka 30 kerrosneliometriä kohti. Mikäli rakennetaan tätä enemmän laadukkaita pyöräpysäköintipaikkoja, autopysäköintipaikkoja voidaan samalla vähentää enintään viidellä prosentilla (Helsingin kaupunki 2015a). Pyöräpysäköinnin tarjontaa olisikin hyvä tarkastella täydentävänä osana autopysäköinnin tarjontaa.

6.4.3 Muiden liikkumismuotojen sisällyttäminen saavutettavuusanalyysiin

Tässä tutkimuksessa käytettiin saavutettavuusanalyysien liikkumismuotoina autoilua, joukkoliikennettä, pyöräilyä sekä kestäväää liikennettä, eli joukkoliikennettä tai pyöräilyä. Kestävä liikenne mallinnettiin tässä tutkimuksessa siten, että käyttäjä valitsee kotoa lähtiessään kulkumuodokseen joko polkupyörän tai joukkoliikenteen sen mukaan, kummalla kulkumuodolla kohde on saavutettavissa nopeammin. Olisi mielenkiintoista ottaa analyysin mukaan myös vaihtoehto, jossa pyörän voi ottaa mukaan tiettyihin joukkoliikennevälineisiin, kuten lähijunaan tai metroon, tai jossa pyörän voi jättää asemalle yhdessä päässä matkaa (nk. bike & ride). Lisäksi olisi myös mielenkiintoista laskea saavutettavuusmittarit käyttämällä liikennemuotona myös kaupunkipyöräjärjestelmää joukkoliikennejärjestelmän osana. Tällöin olisi mahdollisuus kulkea osan matkasta kaupunkipyörällä ja osan joukkoliikenteellä tai koko matkan jommallakummalla liikennemuodolla, mikä vastaisi enemmän nykyhetken liikkumistottumuksia.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämä tutkimus on tarkastellut päivittäisen liikkumisen saavutettavuutta kestävillä liikkumismuodoilla ja autolla vuosina 2017 ja 2030 sekä analysoinut, mitkä muuttujat vaikuttavat autonomistukseen pääkaupunkiseudulla. Tutkimushypoteesina oli, että alueilla, joilta voidaan kestävien liikkumismuotojen avulla saavuttaa paljon päivittäisen liikkumisen kohteita, omistetaan myös vähemmän autoja. Tulosten valossa tämä hypoteesi voidaan vahvistaa, sillä joukkoliikenteen ja autoilun työpaikkasaavutettavuuden suhteen ja autojen määrän per asutokunta välillä on voimakas negatiivinen korrelaatio ($R = -0,807$). Toisin sanoen, mitä enemmän työpaikkoja alueelta voidaan saavuttaa joukkoliikenteellä suhteessa autoiluun, sitä vähemmän alueella omistetaan autoja asuntoa kohti.

Tutkimuksen tulosten perusteella parhaiten päivittäisten kotiperäisten matkojen mallintamiseen soveltuu log-logistisella impedanssifunktiolla painotettu potentiaalinen työpaikkasaavutettavuus. Saavutettavuus kestävillä liikkumismuodoilla on vuonna 2030 edelleen huomattavasti matalampi kuin autolla, mutta paranee silti monilla alueilla, kuten uusien pikaraitoteiden varrella nykyiseen verrattuna merkittävästi. Autonomistukseen eniten vaikuttavat tekijät pääkaupunkiseudulla ovat kerros- ja pientalojen asuinkerrosalan osuus koko alueen asuinkerrosalasta, mutta myös joukkoliikenteen ja autoilun työpaikkasaavutettavuuden suhde korreloi vahvasti autonomistuksen kanssa. Tutkimuksessa havaittiin, että lineaariset regressiomallit soveltuvat erittäin hyvin autonomistuksen mallintamiseen, erityisesti mikäli selittäviksi muuttujiksi valittiin kestävä liikenteen työpaikkasaavutettavuuden lisäksi alueen väestötiheys.

Tutkielman tavoitteena on ollut arvioida tulevaisuuden liikenneverkon ja maankäyttörakenteen yhteisvaikutusta ja tuottaa tietoa siitä, millä alueilla asukaspysäköinnin miniminormia voitaisiin pienentää tai asettaa rakennuttajien päätettäväksi. Liikenneverkon ja maankäyttörakenteen yhteisvaikutusta on arvioitu käyttämällä log-logistisella impedanssifunktiolla painotettuja potentiaalisia työpaikkasaavutettavuusmittareita eri liikkumismuodoilla. Näiden työpaikkasaavutettavuusmittareiden ja väestötiheyden avulla on luotu usean muuttujan lineaarista regressioanalyysiä käyttäen autonomistuksen ennustemalleja, joiden avulla on arvioitu asutokuntien, asukkaiden ja kerrosalan lukumääriä autoa kohti vuonna 2030. Ennustemallien paras selitysaste on asutokuntia per auto -ennustemallilla, jonka selitysaste on 66 prosenttia. Täten ennustemallin voidaan todeta soveltuvan hyvin uusien pysäköintinormien

suunnittelun tueksi. Tutkielman tuloksena saadut kartat havainnollistavat, että parhaat edellytykset markkinaehtoiseen pysäköintiin siirtymisellä on alueilla, joiden työpaikkasaavutettavuus tulevaisuudessa on mahdollisimman hyvä kestävillä liikkumismuodoilla suhteessa autoiluun.

8 KIITOKSET

Tämän gradun kirjoittaminen on ollut intensiivinen prosessi ja haluan kiittää kaikkia, joilta olen saanut tukea työn aikana. Erityiskiitos kuuluu ohjaajilleni Juha Hietaselle ja Tuuli Toivoselle, jotka ovat antaneet arvokkaita neuvoja ja ohjanneet työn kulkua oikeaan suuntaan. Kiitos kuuluu myös Kaisa Reunanen-Krauselle HELMET 3.0 -matka-aika- ja maankäyttöennusteiden tuottamisesta saavutettavuusanalyysijä varten. Lisäksi erityiskiitokset HSL:n liikennetutkimukset-ryhmälle Liikkumistottumukset 2012 -kyselytutkimuksen matka-aika-aineiston koostamisesta. Lopuksi haluan lämpimästi kiittää kaikkia Helsingin kaupungin liikenne- ja katusuunnittelupalvelun liikennejärjestelmäyksikön kollegoita erittäin mukavasta ja kannustavasta työilmapiiristä.

9 LÄHTEET

- Acker, Veronique Van & Witlox, Frank (2010). Car ownership as a mediating variable in car travel behaviour research using a structural equation modelling approach to identify its dual relationship. *Journal of Transport Geography* 18, 65–74. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2009.05.006.
- Batty, Michael (2009). Accessibility: in search of a unified theory. *Environment and Planning B: Planning and Design* 36, 191–194. doi: 10.1068/b3602ed.
- Bertolini, L., le Clercq, F. & Kapoen, L. (2005). Sustainable accessibility: A conceptual framework to integrate transport and land use plan-making. Two test-applications in the Netherlands and a reflection on the way forward. *Transport Policy* 12:3, 207–220. doi: 10.1016/j.tranpol.2005.01.006.

- BFS = Bundesamt für Statistik (2012). Mobilität in der Schweiz - Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010. *Statistik der Schweiz*. Neuchâtel/Bern.
- Brandt, Elina & Lindeqvist, Matleena (2016). Auton omistus Helsingin seudulla - katsaus menneeseen kehitykseen ja pohdintoja tulevasta. *HSL:n julkaisuja* 19. 90 s.
- Breheny, Michael J. (1978). The Measurement of Spatial Opportunity in Strategic Planning. *Regional Studies* 12: 4, 463–479.
- Bäckström, Juhani, Leena Gruzdaitis, Seppo Lampinen & Anne Hemeoja (2017). Uudet pysäköintiratkaisut osana älykästä liikennejärjestelmää. *HSL:n julkaisuja* 7. 63 s.
- Cao, Xiaoshu & Huang, Xiaoyan (2013). City-level determinants of private car ownership in China. *Asian Geographer* 30: 1, 37–53. doi: 10.1080/10225706.2013.799507.
- Christaller, Walter (1933). Die zentralen Orte in Süddeutschland: Eine ökonomisch-geographische Untersuchung über die Gesetzmäßigkeit der Verbreitung und Entwicklung der Siedlungen mit städtischen Funktionen. 340 s. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Jena.
- City of London (2018). City of London Corporation tackles air pollution with London's first environmentally friendly parking tariff. 14.8.2018.
<<https://news.cityoflondon.gov.uk/city-of-london-corporation-tackles-air-pollution-with-londons-first-environmentally-friendly-parking-tariff/>>
- Ciudad de Madrid (2018). Acuerdo de 29 de octubre de 2018 de la Junta de Gobierno de la Ciudad de Madrid por el que se desarrolla el régimen de gestión y funcionamiento de la Zona de Bajas Emisiones “Madrid Central”. *Boletín Oficial del Ayuntamiento*. 19 s.
- Clark, Stephen D. (2007). Estimating local car ownership models. *Journal of Transport Geography* 15: 3, 184–197. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2006.02.014.
- Curtis, Carey & Scheurer, Jan (2010). Planning for sustainable accessibility: Developing tools to aid discussion and decision-making. *Progress in Planning* 74: 2, 53–106. doi: 10.1016/j.progress.2010.05.001.
- Dargay, Joyce & Hanly, Mark (2007). Volatility of car ownership, commuting mode and time in the UK. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 41:10, 934–948. doi: 10.1016/j.tra.2007.05.003.

- Delafontaine, Matthias, Tijs Neutens, Tim Schwanen, Nico Van de Weghe. The impact of opening hours on the equity of individual space-time accessibility. *Computers, environment and urban systems* 35, 278-288.
- Digital Geography Lab (2018). Pääkaupunkiseudun matka-aikamatriisi 2018.
<<https://blogs.helsinki.fi/saavutettavuus/paakaupunkiseudun-matka-aikamatriisi-2018/>>
- Elolähde, Timo & Rätty, Pekka (2016a). Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikenneennustejärjestelmän kysyntämallit 2014. *HSL:n julkaisuja* 21. 166 s.
- Elolähde, Timo & Rätty, Pekka (2016b). Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikenneennustejärjestelmän tarjontamallit 2014. *HSL:n julkaisuja* 22. 176 s.
- Espoon, Helsingin, Kauniaisten ja Vantaan kaupungit (2018). Pääkaupunkiseudun palvelupisteet (kunnat ja kuntayhtymät). SeutuCD'17, Helsingin seudun ympäristöpalvelut.
- Farrington, John H. (1995). Car ownership structure and patterns in Scotland. *Scottish Geographical Magazine* 111:2, 98–105. doi: 10.1080/00369229518736947.
- Fellmann, Andy, Ott, Ruedi & Willi, Erich (2009). Der Historische Kompromiss von 1996: Erläuterungen zu Entstehung und Umsetzung. *Mobilität + Planung, Zürich*. 41 s.
- Friedrichs, Jürgen (1985). Stadtentwicklung in West- und Osteuropa. 969 s. Walter de Gruyter GmbH, Berliini.
- Garrick, Norman & McCahill, Christopher (2012). Lessons From Zurich's Parking Revolution. *CityLab*. 8.8.2012.
<<https://www.citylab.com/transportation/2012/08/lessons-zurichs-parking-revolution/2874/>>
- Geurs, Karst T. & Ritsema van Eck, J. R. (2001). Accessibility measures: review and applications. Evaluation of accessibility impacts of land-use transportation scenarios, and related social and economic impact. *RIVM Report* 787. 265 s.
- Geurs, Karst T. & Ritsema van Eck, J. R. (2003). Evaluation of accessibility impacts of land-use scenarios: the implications of job competition, land-use, and infrastructure developments for the Netherlands. *Environment and Planning B: Planning and Design* 30, 69–87. doi: 10.1068/b12940.

- Geurs, Karst T. & van Wee, Bert (2004). Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: Review and research directions. *Journal of Transport Geography* 12:2, 127–140. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2003.10.005.
- Goodwin, Phil (2012). *Peak Travel, Peak Car and the Future of Mobility: Evidence, Unresolved Issues, Policy Implications, and a Research Agenda*. Discussion Paper No. 2012-13. 41 s.
- Hägerstrand, Torsten (1970). WHAT ABOUT PEOPLE IN REGIONAL SCIENCE? *Papers in Regional Science* 24:1, 7–24. Blackwell Publishing Ltd. doi: 10.1111/j.1435-5597.1970.tb01464.x.
- Hakkarainen, Jenni (2019). Autoja pysäköidään paikoin täysin villisti Järvenpään keskustassa – Syynä on 24 vuotta vanha sääntö. *Helsingin Sanomat*. 20.2.2019.
<<https://www.hs.fi/kaupunki/jarvenpaa/art-2000006007496.html>>
- Handy, S. L. & Niemeier, D. A. (1997). Measuring Accessibility: An Exploration of Issues and Alternatives. *Environment and Planning A* 29:7, 1175–1194. doi: 10.1068/a291175.
- Hansen, Walter G. (1959). How Accessibility Shapes Land Use. *Journal of the American Institute of Planners* 25:2, 73–76. doi: 10.1080/01944365908978307.
- Helsingin kaupunki (2012). *Asuintonttien autopaikkamäärien laskentaohjeet*. Kaupunkisuunnitteluvirasto, liikennesuunnitteluosasto. Hyväksytty kaupunkisuunnittelulautakunnassa 14.6.2007.
- Helsingin kaupunki (2014). Helsingin pysäköintipolitiikka. *Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston liikennesuunnitteluosaston selvityksiä*. 83 s.
- Helsingin kaupunki (2015a). *Asuintonttien pysäköintipaikkamäärien laskentaohjeet*. Kaupunkisuunnitteluvirasto, liikennesuunnitteluosasto. Hyväksytty kaupunkisuunnittelulautakunnassa 8.12.2015.
- Helsingin kaupunki (2015b). *Asuintonttien pysäköintipaikkamäärien laskentaohjeet (a-asia)*. Kaupunkisuunnittelulautakunnan esityslistateksti 8.12.2015.
- Helsingin kaupunki (2016). *Henkilöliikennetutkimus 2016 - Helsingin kaupunkijulkaisu*. 20 s.
< https://www.hel.fi/static/liitteet/kaupunkiymparisto/liikenne-ja-kartat/kadut/liikennetilastot/julkaisut/20180604_Helsingin_kaupunki.pdf>

- Helsingin kaupunki (2017a). Helsinkiläisten liikkumistottumukset 2017. *Kaupunkiympäristön julkaisuja* 18. 55 s.
- Helsingin kaupunki (2017b). Maailman toimivin kaupunki. Helsingin kaupunkistrategia 2017-2021. 13 s.
- Helsingin kaupunki (2019). Markkinaehtoisen pysäköinnin periaatteita asuntorakentamisessa ja periaatteiden kokeilu tietyillä uusilla asuinalueilla. Luonnos 18.3.2019. *Helsingin kaupunki, kaupunkiympäristön toimiala*. 32 s.
- Hesse, Claudia, Simon Bohne, Christos Evangelinos & Ronny Püschel (2012). Erreichbarkeitsmessung: Theoretische Konzepte und empirische Anwendungen. *Diskussionsbeiträge aus dem Institut für Wirtschaft und Verkehr* 3. 45 s.
- HLJ-projekti & Strafica Oy (2010). HLJ 2011, Ajoneuvoliikenteen verkkoselvitys. *HSL:n julkaisuja* 28. 37 s.
- HLJ 2015 -projekti (2015). Helsingin seudun liikennejärjestelmäsuunnitelma HLJ 2015. *HSL:n julkaisuja* 3. 100 s.
- HSL = Helsingin seudun liikenne (2013). Helsingin seudun liikkumistutkimus 2012. HSL Helsingin seudun liikenne, Helsinki.
- HSL = Helsingin seudun liikenne (2014). Saavutettavuustarkastelut ja joukkoliikenteen matka-aikasaavutettavuus, SAVU&MASA. *HSL:n julkaisuja* 3. 50 s.
- HSL = Helsingin seudun liikenne (2018). Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikenneennustejärjestelmä HELMET 3.0. HSL Helsingin seudun liikenne, Helsinki.
- HSY = Helsingin seudun ympäristöpalvelut (2018). *SeutuCD'17 Ohjekirja*. HSY Helsingin seudun ympäristöpalvelut, Helsinki.
- HSY & Pääkaupunkiseudun kunnat (2013). SeutuRAMAVA. SeutuCD'13, Helsingin seudun ympäristöpalvelut.
- Ingram, D. R. (1971). The Concept of Accessibility: A Search for an Operational Form. *Regional Studies* 5, 101–107.
- Kanton Basel-Stadt (1992). Verordnung über die Erstellung von Parkplätzen für Personenwagen (Parkplatzverordnung, PPV). *Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt*.

13 s.

Kanton Basel-Stadt (2011). Bau- und Planungsgesetz (BPG). *Baudepartement des Kantons Basel-Stadt*. 37 s.

Kanton Zürich (1997). Wegleitung zur Regelung des Parkplatz-Bedarfs in kommunalen Erlassen. *Baudirektion Kanton Zürich*. 9 s.

Kodransky, Michael & Hermann, Gabrielle (2011). Europe's Parking U-Turn: From Accommodation to Regulation. *ITDP Institute for Transportation & Development Policy*. 84 s.

Koivisto, Matti (2016). Kaupunkisuunnittelija: pysäköintinormien poistamisella jopa 30 prosenttia halvempia asuntoja Helsinkiin. *Yle Uutiset*. 17.3.2016.
<<https://yle.fi/uutiset/3-8749621>>

Komornicki, Tomasz (2003). Factors of development of car ownership in Poland. *Transport Reviews* 23:4, 413-431. doi: 10.1080/0144164022000026936.

Kwan, Mei-Po (1998). Space-Time and Integral Measures of Individual Accessibility: A Comparative Analysis Using a Point-based Framework. *Geographical Analysis* 30:3, 191-216. doi: 10.1111/j.1538-4632.1998.tb00396.x.

Laakso, Seppo & Loikkanen, Heikki A. (2004). *Kaupunkitalous: Johdatus kaupungistumiseen, kaupunkien maankäyttöön sekä yritysten ja kotitalouksien sijoittumiseen*. 1. p. 472 s. Gaudeamus, Helsinki

Liikennevirasto (2015). Sähköavusteisten polkupyörien tiekartta. Kulkumuodon mahdollisuudet kestävän liikennejärjestelmän edistämisessä. *Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä* 10. 90 s.

Liikennevirasto (2018). Henkilöliikennetutkimus 2016. Suomalaisten liikkuminen. *Liikenneviraston tilastoja* 1. 113 s.

Liimatainen, Heikki, Lasse Nykänen, Tuuli Rantala, Antti Rehunen, Mika Ristimäki, Anna Strandell, Jyri Seppälä, Matti Kytö, Samuli Puroila & Markku Ollikainen (2015). Tarve, tottumukset, tekniikka ja talous – ilmastonmuutoksen hillinnän toimenpiteet liikenteessä. *Suomen ilmastopaneeli*. 95 s.

Lindeqvist, Matleena, Sampo Kantele, Pekka Rätty, Timo Elolähde, Marko Vihervuori (2013).

- HLJ 2015 Liikkumistottumukset Helsingin seudulla 2012. *HSL:n julkaisuja* 27. 126 s.
- Martens, M. J. & Griethuysen, S. v. (2007). The ABC location policy in the Netherlands. *TNO Inro Report*. 8 s.
- Mattioli, Giulio (2014). Where Sustainable Transport and Social Exclusion Meet: Households Without Cars and Car Dependence in Great Britain. *Journal of Environmental Policy and Planning* 16:3, 379–400. doi: 10.1080/1523908X.2013.858592.
- McCahill, Christopher T., Norman Garrick, Carol Atkinson-Palombo, Adam Polinski (2016). Effects of Parking Provision on Automobile Use in Cities: Inferring Causality. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1, 159–165. doi: 10.3141/2543-19.
- MDI (2019). *10 Kaupunkiseudun väestöennuste. Kooste kymmenen kaupunkiseudun väestöennusteesta vuosina 2018–2040*. Aluekehittämisen konsulttitoimisto MDI, Helsinki.
- Millard-Ball, Adam, Rachel R. Weinberger & Robert C. Hampshire (2014). Is the curb 80% full or 20% empty? Assessing the impacts of San Francisco's parking pricing experiment. *Transportation Research Part A* 63, 76-92.
- Mingardo, Giuliano, Bert van Wee & Tom Rye (2015). Urban parking policy in Europe: A conceptualization of past and possible future trends. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 74, 268–281. doi: 10.1016/j.tra.2015.02.005.
- Pääkaupunkiseudun kunnat (2013). Rakennukset (pks_rak). SeutuCD'13, Helsingin seudun ympäristöpalvelut.
- Palomäki, Heikki (2011). *Asukkaiden pysäköintipaikkamäärien optimointi Helsingin esikaupunkialueilla*. 103 s. Insinööritieteiden korkeakoulu, Aalto-yliopisto.
- Pierce, Gregory & Shoup, Donald (2013). Getting the Prices Right. *Journal of the American Planning Association* 79:1, 67–81. doi: 10.1080/01944363.2013.787307.
- Porta, Sergio, Paolo Crucitti & Vito Latora (2006). The network analysis of urban streets: a primal approach. *Environment and Planning B: Planning and Design* 33, 705–725. doi: 10.1068/b32045.
- Quantum Research (2016). Parkraumpolitik im Wandel - Auswirkungen auf den

Investmentmarkt am Beispiel Niederlande. *FOCUS* 22. 24 s.

RAKLI (2015). *Selvitys kaavamääräysten kustannusvaikutuksista*. 52 s.

Rauma, Eemil (2014). *Suomen henkilöautokannan kehitys vuoteen 2025 asti; Tarkasteluja*. 181 s. Taloustieteen laitos, Helsingin yliopisto.

Salomaa, Marja (2017). Vantaan tiukka pysäköinti-linjaus suututti Kivistön asukkaat – kaupungille 1200 ihmisen vetoamus paikkapulasta. *Helsingin Sanomat*. 28.5.2017. <<https://www.hs.fi/kaupunki/art-2000005230595.html>>

Shoup, Donald C. (1999). The trouble with minimum parking requirements. *Transportation Research Part A* 33, 549-574.

De Smith, Michael J., Michael F. Goodchild & Paul A. Longley (2018). *Geospatial Analysis: A Comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools*. 6. p. 617 s. <<https://www.spatialanalysisonline.com/HTML/index.html>>

Soininvaara, Osmo (2013). Liityntäpysäköinti, mitä maksaa ja kuka maksaa? <<http://www.soininvaara.fi/2013/12/02/liityntapysakointi-mita-maksaa-ja-kuka-maksaa/>>

Soininvaara, Osmo (2017). Markkinaehtoiseen autopaikkapolitiikkaan. <<http://www.soininvaara.fi/2017/09/10/markkinaehtoiseen-autopaikkapolitiikkaan/>>

Spiekermann, Klaus & Jörg Neubauer (2002). European Accessibility and Peripherality: Concepts, Models and Indicators. *Nordregio Working Paper* 9. 46 s. <<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:700463/FULLTEXT01.pdf>>

Stadt Zürich (2015). Verordnung über private Fahrzeugabstellplätze (Parkplatzverordnung). *Gemeinderatsbeschluss vom 11. Dezember 1996 mit Änderungen bis 16. Dezember 2015*. 12 s.

Stiftung Habitat (2018). Erlenmatt Ost. <<https://www.stiftung-habitat.ch/blog-erlenmatt-ost.html>>

Tenkanen, H., J.L. Espinosa, E. Willberg, V. Heikinheimo, A. Tarnanen, T. Jaakkola, J. Järvi, M. Salonen, T. Toivonen (2018). Helsinki Region Travel Time Matrix 2018. DOI: 10.13140/RG.2.2.20858.39362

- Terviö, Marko, Pauli Murto, Oskari Harjunen & Oskari Nokso-Koivisto (2019).
Markkinaehtoisen pysäköinnin perusteet. 23 s. Aalto Economic Institute, Helsinki.
- Thünen, Johann Heinrich von (1875). *Der isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationalökonomie*. 3. Auflage. Berlin.
- Tilastokeskus (2010). Toimialaluokitus TOL 2008. 18.3.2010.
<https://www.stat.fi/til/yrttp/yrttp_2010-03-18_luo_001.html>
- Tilastokeskus (2013a). Autonomistustiedot pienalueittain. SeutuCD'17, Helsingin seudun ympäristöpalvelut.
- Tilastokeskus (2013b). Seudulliset tulotasotiedot. SeutuCD'13, Helsingin seudun ympäristöpalvelut.
- Tilastokeskus (2015). Yritykset ja toimipaikat (YrTP, JulkTP). SeutuCD'17, Helsingin seudun ympäristöpalvelut.
- Tilastokeskus (2018) *Tilastokeskuksen PX-Web-tietokannat*.
<<https://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/>>
- Tobler, Waldo (1970). A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region. *Economic Geography* 46, 234-240.
- Toivonen, T., M. Salonen, H. Tenkanen, P. Saarsalmi, T. Jaakkola & J. Järvi (2014a).
Joukkoliikenteellä, autolla ja kävellen: Avoin saavutettavuusaineisto
pääkaupunkiseudulla. *Terra* 126: 3, 127-136.
- Toivonen, T., M. Salonen, H. Tenkanen, P. Saarsalmi, T. Jaakkola & J. Järvi (2014b).
Helsinki Region Travel Time Matrix 2014. DOI: 10.13140/RG.2.1.2159.3683
- Toivonen, T., H. Tenkanen, V. Heikinheimo, T. Jaakkola, J. Järvi & M. Salonen (2015).
Helsinki Region-Travel Time Matrix 2015. DOI: 10.13140/RG.2.1.1901.3201
- Vandenbulcke, Grégoery, Thérèse Steenberghen & Isabelle Thomas (2009). Mapping accessibility in Belgium: a tool for land-use and transport planning? *Journal of Transport Geography* 17:1, 39–53. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2008.04.008.
- Vanhapelto, Tuuli (2017). *Pysäköintipolitiikan kokonaistaloudelliset vaikutukset*. 66 s. Taloustieteen laitos, Aalto-yliopisto.

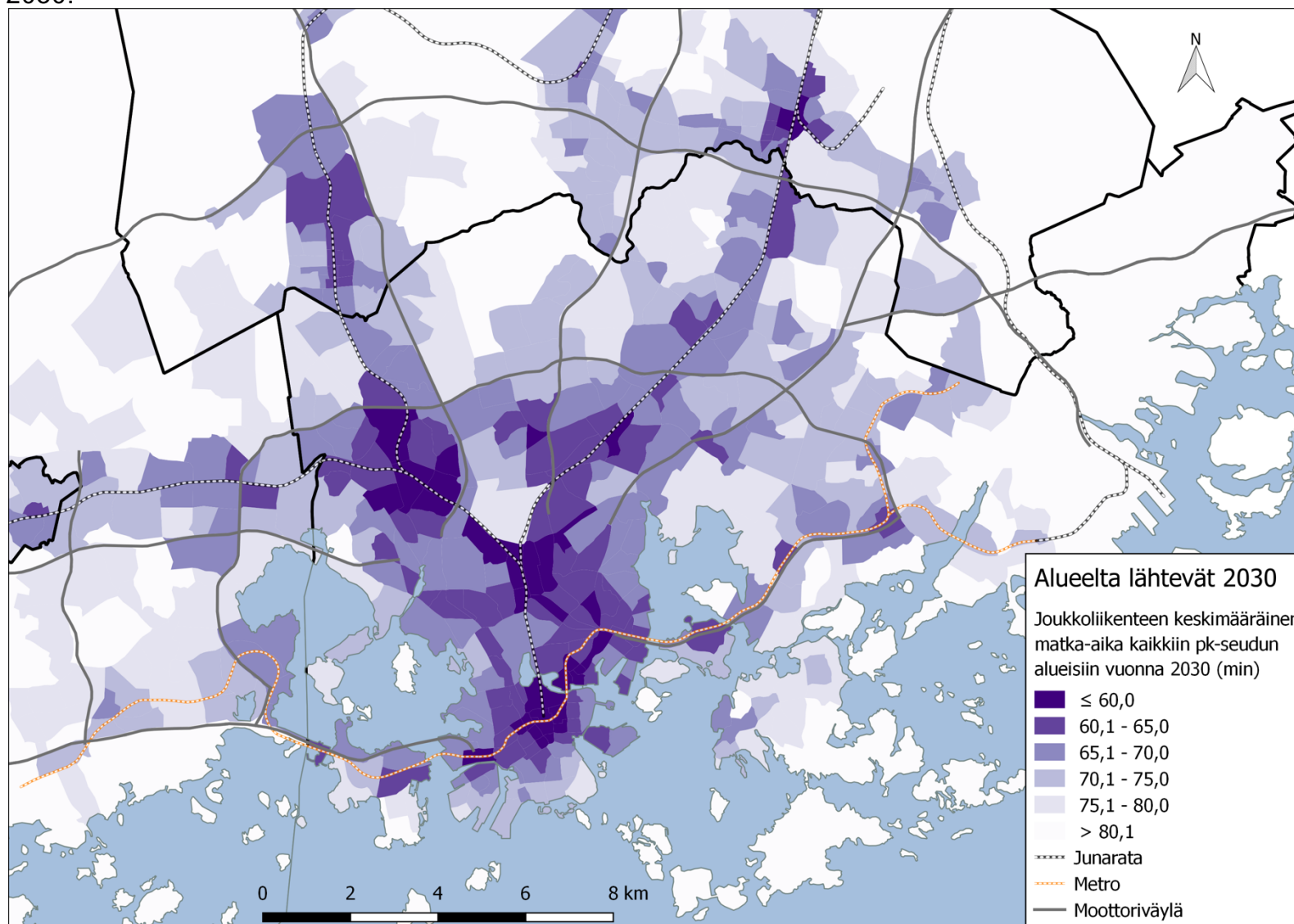
- VCS = Verkehrs-Club der Schweiz (2018). Autofreie / autoarme Siedlungen in Europa. *Plattform autofrei/autoarm Wohnen*. <<https://wohnbau-mobilitaet.ch/beispiele/siedlungen-europa/>>
- Väestörekisterikeskus (2013). Rakennustasoinen väestö (pks_vaki). SeutuCD'13, Helsingin seudun ympäristöpalvelut.
- Väestörekisterikeskus (2017). Rakennustasoinen väestö (pks_vaki). SeutuCD'17, Helsingin seudun ympäristöpalvelut.
- Le Vine, Scott & Jones, Peter (2012). On the Move. Making sense of car and train travel trends in Britain. 148 s. RAC Foundation, Lontoo.
- Whelan, Gerard (2007). Modelling car ownership in Great Britain. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 41, 205-219.
- Wilson, Alan (1971). Family of spatial interaction models, and associated developments. *Environment and Planning* 3:1, 1–32. doi: 10.1068/a030001.
- Zemp, Thomas (2018). «Nur ein toter Parkplatz ist ein guter Parkplatz». *Tages-Anzeiger*. 25.10.2018. <<https://www.tagesanzeiger.ch/zuerich/stadt/stadtzuercher-parlament-ruettelt-am-parkplatzkompromiss/story/22711502>>

10 LIITTEET

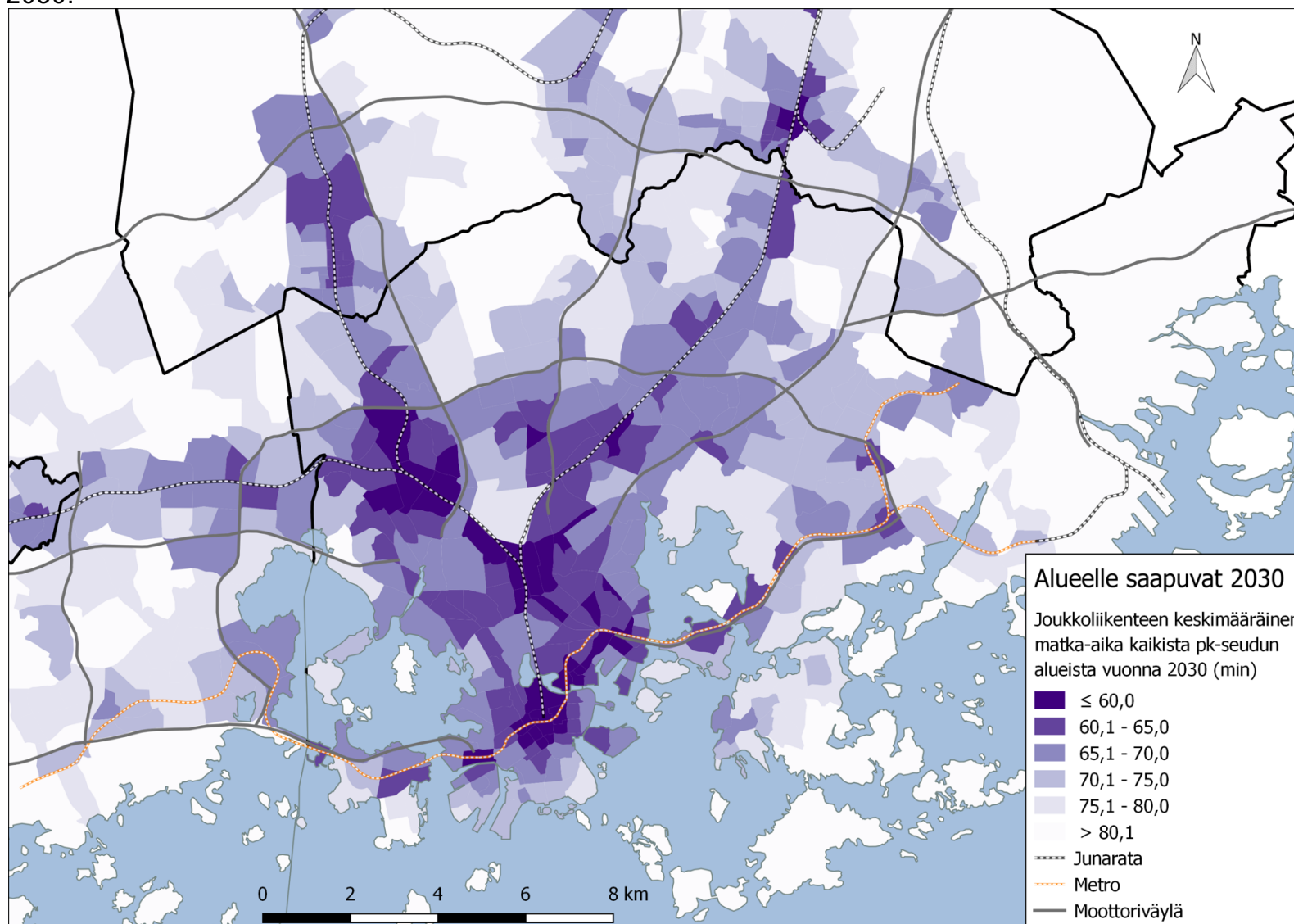
Liite 1. Potentiaalisen saavutettavuuden log-logistisella impedanssifunktiolla laskeva Python-komentosarja

```
1  #!/usr/bin/env python3
2  # -*- coding: utf-8 -*-
3  """
4  Created on Tue Apr  2 22:05:58 2019
5
6  @author: juliuskrotzl
7  """
8
9  import pandas as pd
10
11 def potentialAccessibility(travelmode, year, landuse, maxtraveltime, datafolder, a, b):
12
13     fpttmatrix = datafolder + '/data/Matka-aikamatriisit/' + travelmode + '_' + year + '_' + landuse + '.txt'
14     ttmatrix = pd.read_csv(fpttmatrix, delim_whitespace=True)
15
16     fplanduse = datafolder + '/data/Maankäyttö/' + landuse + '_' + year + '.txt'
17     lutable = pd.read_csv(fplanduse, skiprows=0, delim_whitespace=True)
18
19     merged = ttmatrix.merge(lutable[['id', landuse]], how='left')
20
21     results = pd.DataFrame(columns=['id', landuse[0] + year[2:] + travelmode[:2] + '_' + str(a) + str(b)])
22
23     i=0
24     for column in merged:
25         if (column != 'id') & (column != landuse):
26             i=i+1
27             print(column + ', ' + str(i) + '/1962')
28             list=[]
29             for value in range(maxtraveltime):
30                 pop = merged.loc[((merged[column] >= value) & (merged[column] < value+1))]
31                 total = pop[landuse].sum()
32                 weighted_value = total * 1/(1+(value/a)**b)
33                 list.append(weighted_value)
34                 sum_list = sum(list)
35                 new_row = [column, sum_list]
36                 results.loc[len(results)] = new_row
37
38
39     outfp = datafolder + '/output/' + '_loglog_a' + str(a) + '_b' + str(b) + landuse + '_max' + str(maxtraveltime) + '_min' + '_' + travelmode + '_' + year + '.csv'
40     results.to_csv(outfp)
```

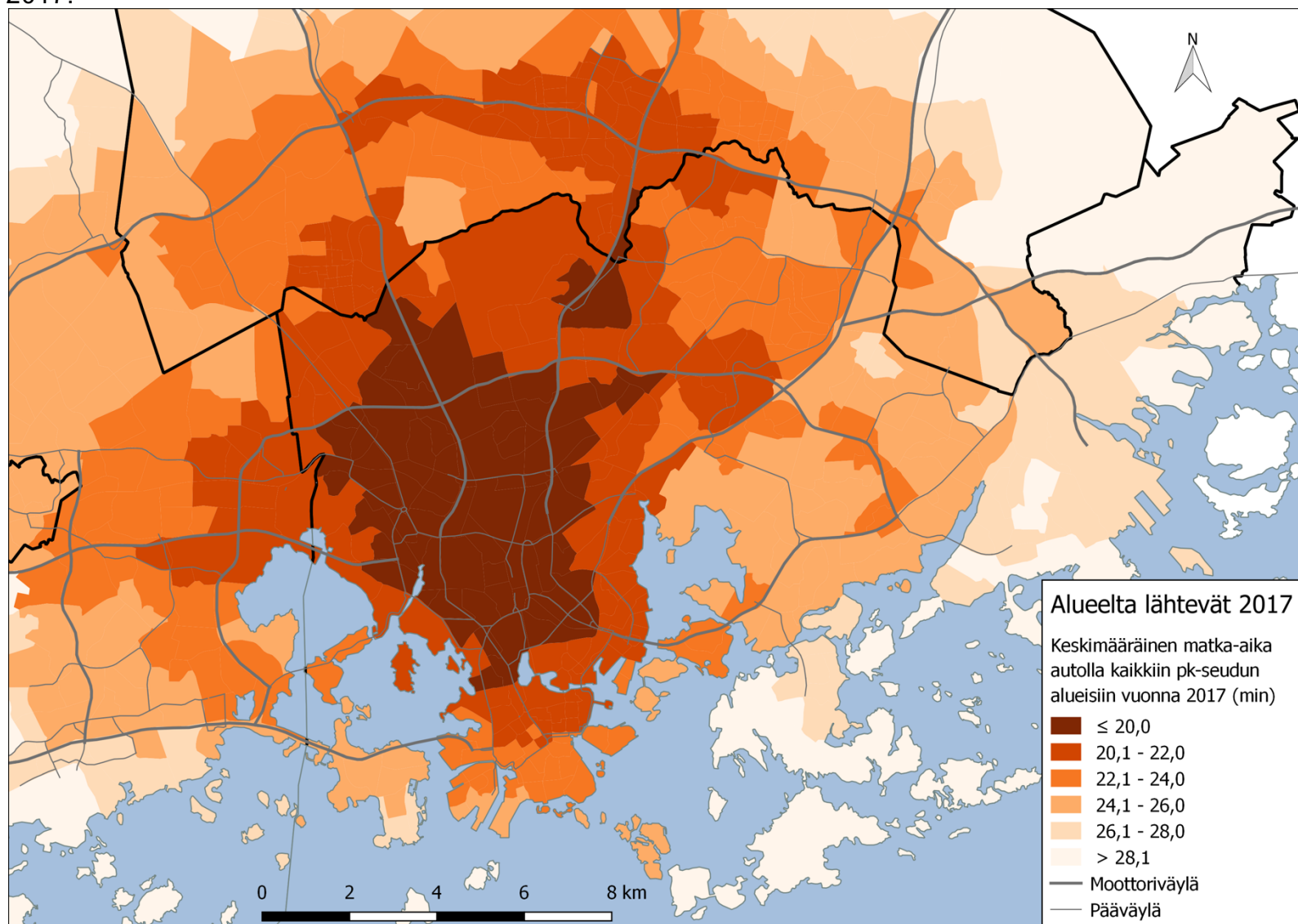
Liite 2. Keskimääräinen joukkoliikenteen matka-aika aamuruuhka-aikaan kaikkiin pääkaupunkiseudun pienalueisiin vuonna 2030.



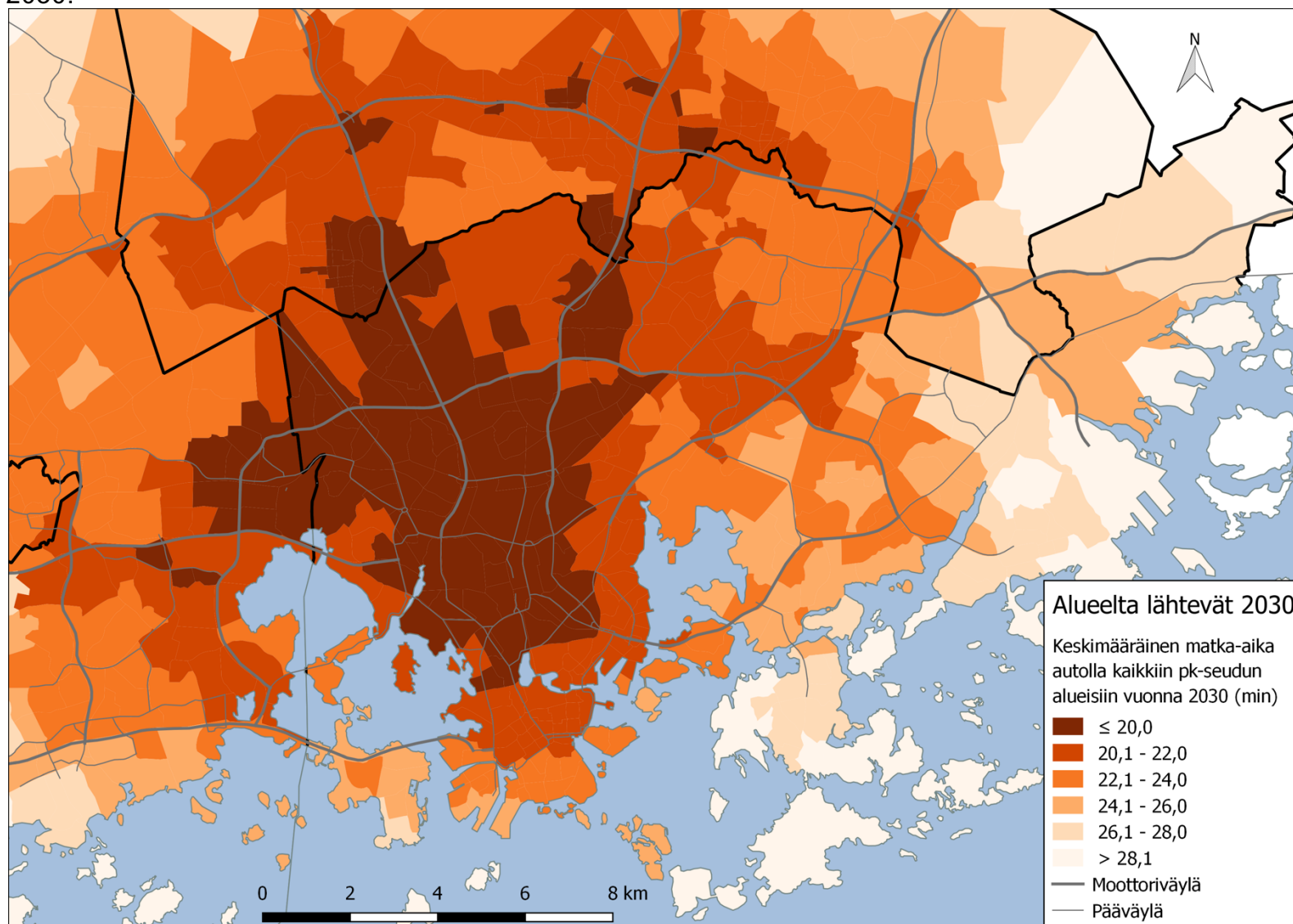
Liite 3. Keskimääräinen joukkoliikenteen matka-aika aamuruuhka-aikaan kaikista pääkaupunkiseudun pienalueista vuonna 2030.



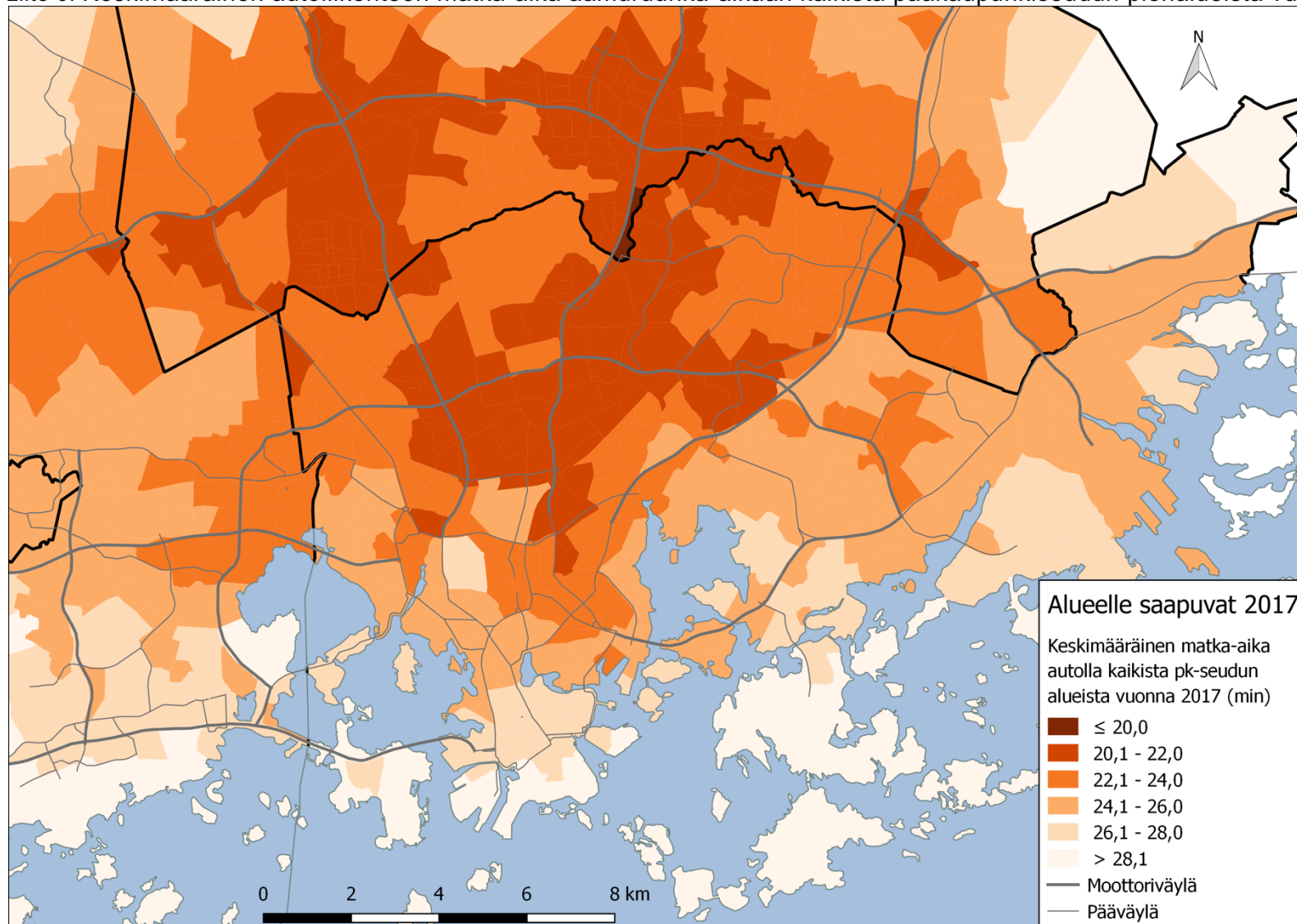
Liite 4. Keskimääräinen autoliikenteen matka-aika aamuruuhka-aikaan kaikkiin pääkaupunkiseudun pienalueisiin vuonna 2017.



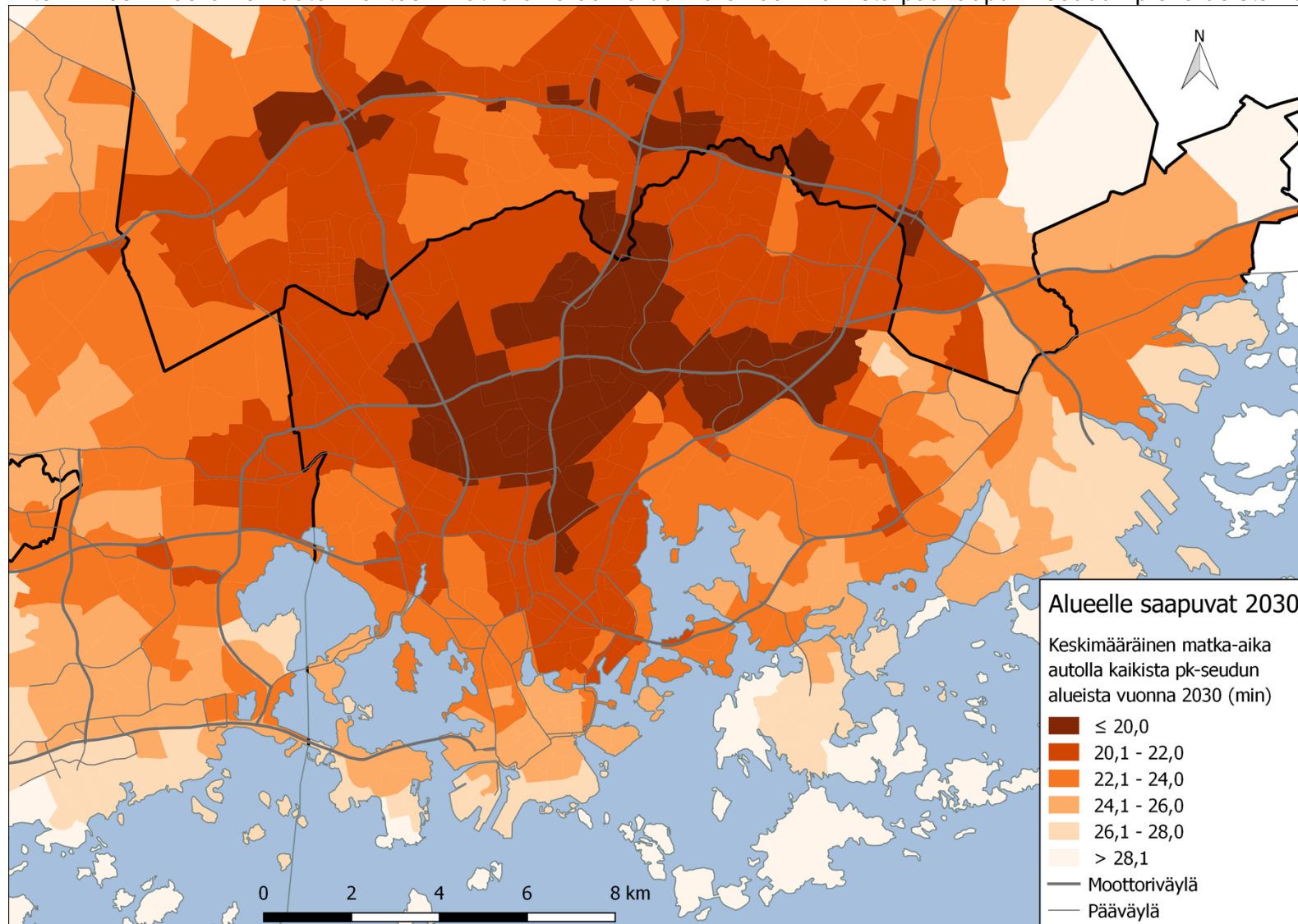
Liite 5. Keskimääräinen autoliikenteen matka-aika aamuruuhka-aikaan kaikkiin pääkaupunkiseudun pienalueisiin vuonna 2030.



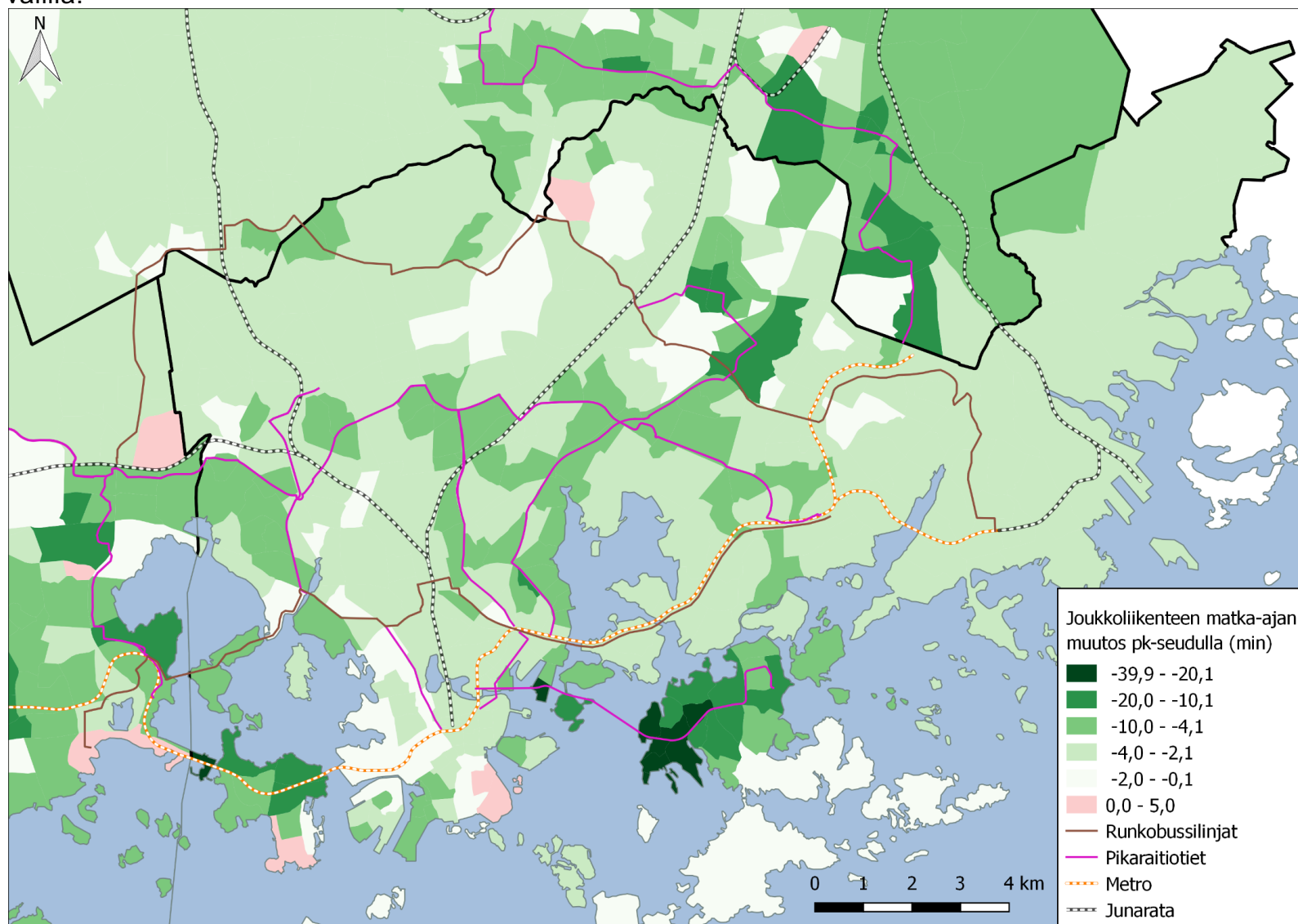
Liite 6. Keskimääräinen autoliikenteen matka-aika aamuruuhka-aikaan kaikista pääkaupunkiseudun pienalueista vuonna 2017.



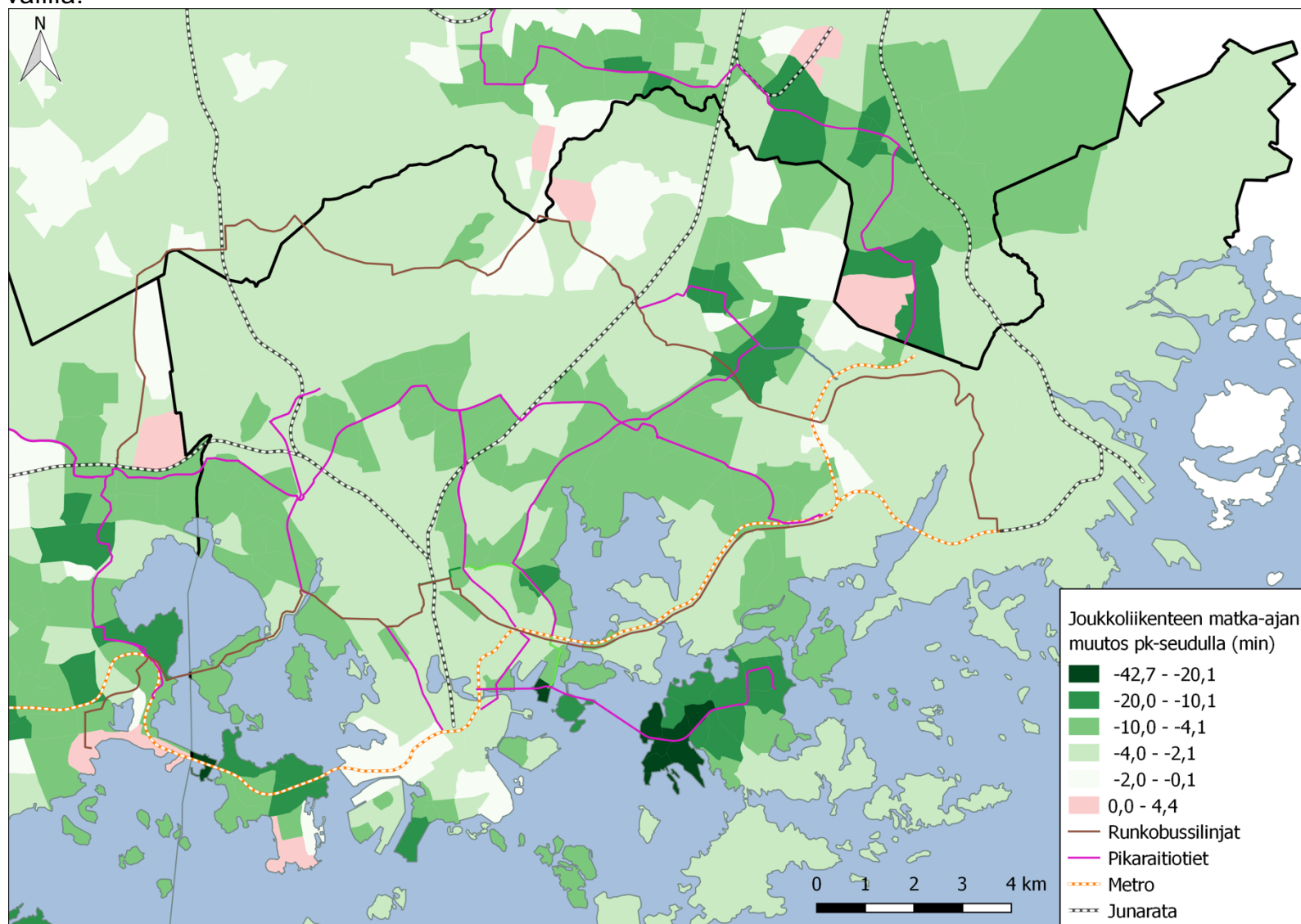
Liite 7. Keskimääräinen autoliikenteen matka-aika aamuruuhka-aikaan kaikista pääkaupunkiseudun pienalueista vuonna 2030.



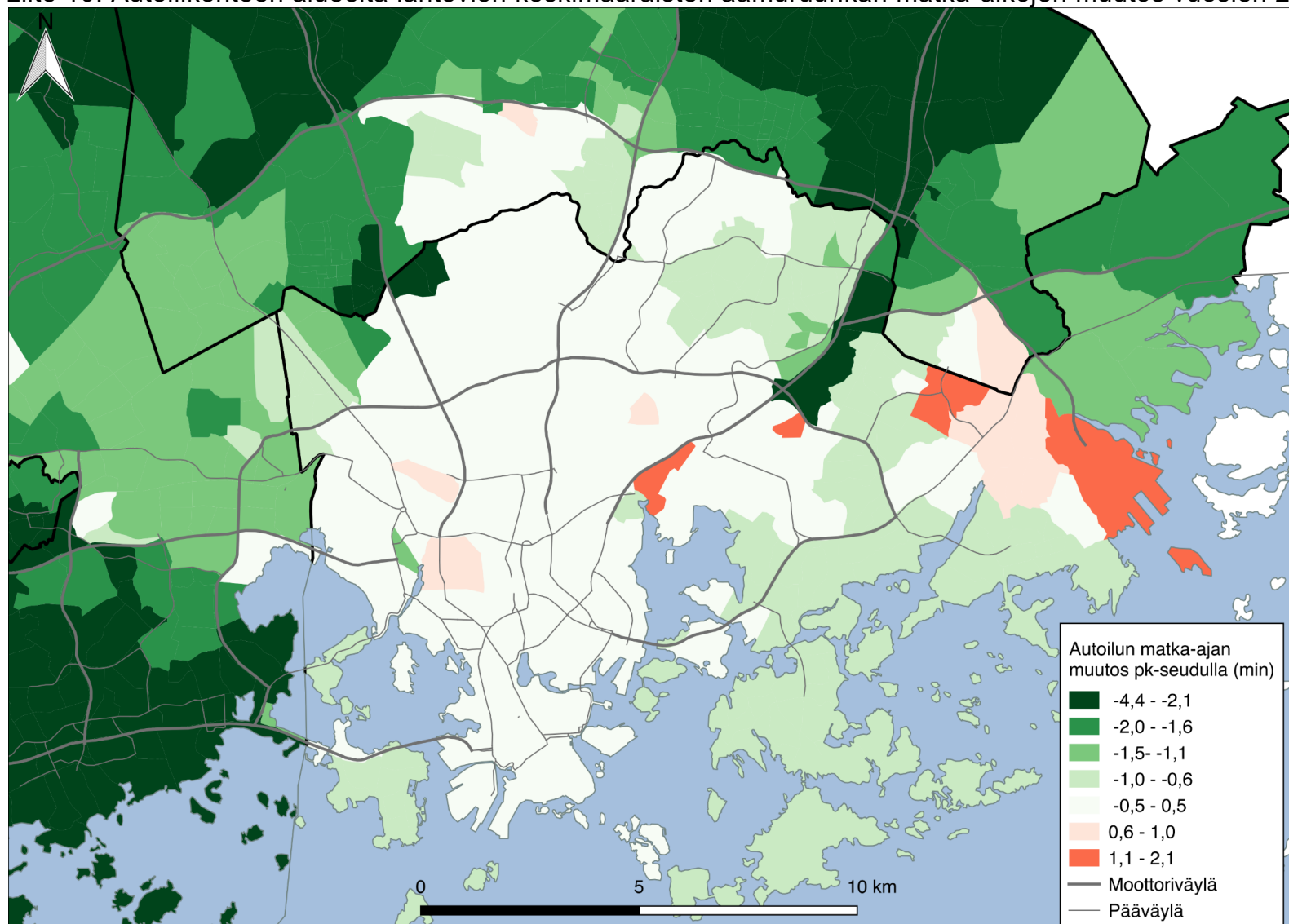
Liite 8. Joukkoliikenteen alueelta lähtevien keskimääräisten aamuruuhkan matka-aikojen muutos vuosien 2017 ja 2030 välillä.



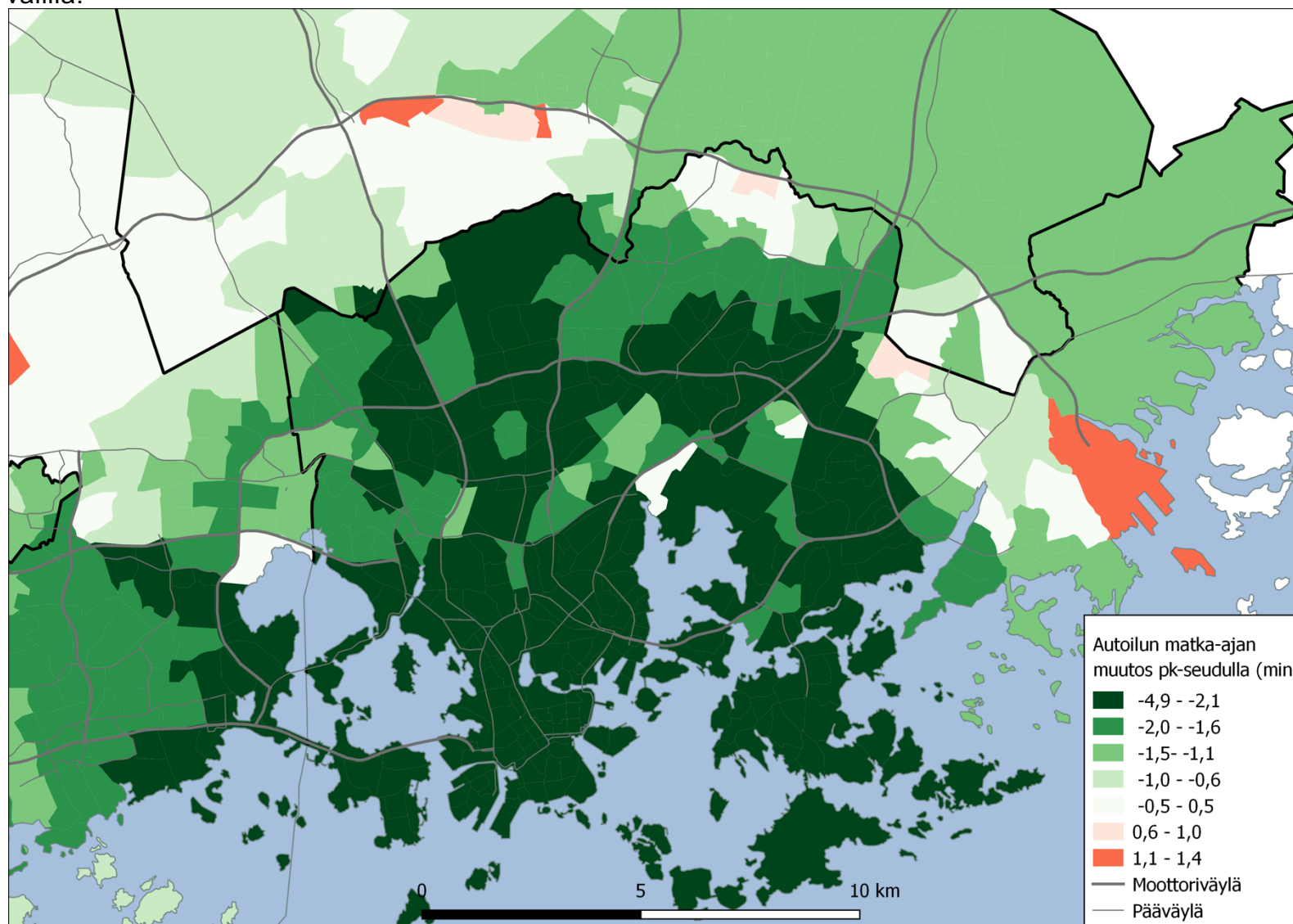
Liite 9. Joukkoliikenteen alueelle saapuvien keskimääräisten aamuruuhkan matka-aikojen muutos vuosien 2017 ja 2030 välillä.



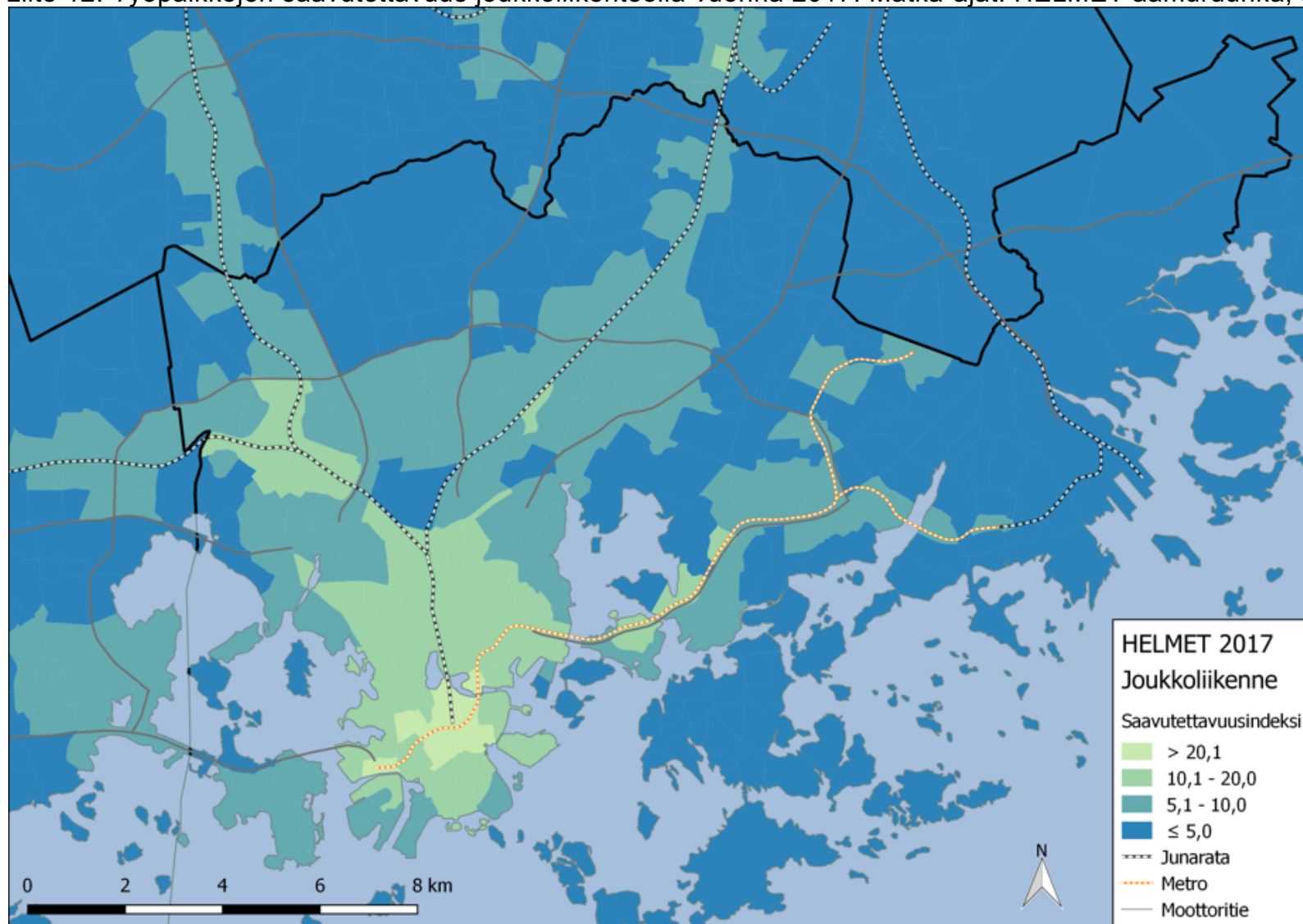
Liite 10. Autoliikenteen alueelta lähtevien keskimääräisten aamuruuhkan matka-aikojen muutos vuosien 2017 ja 2030 välillä.



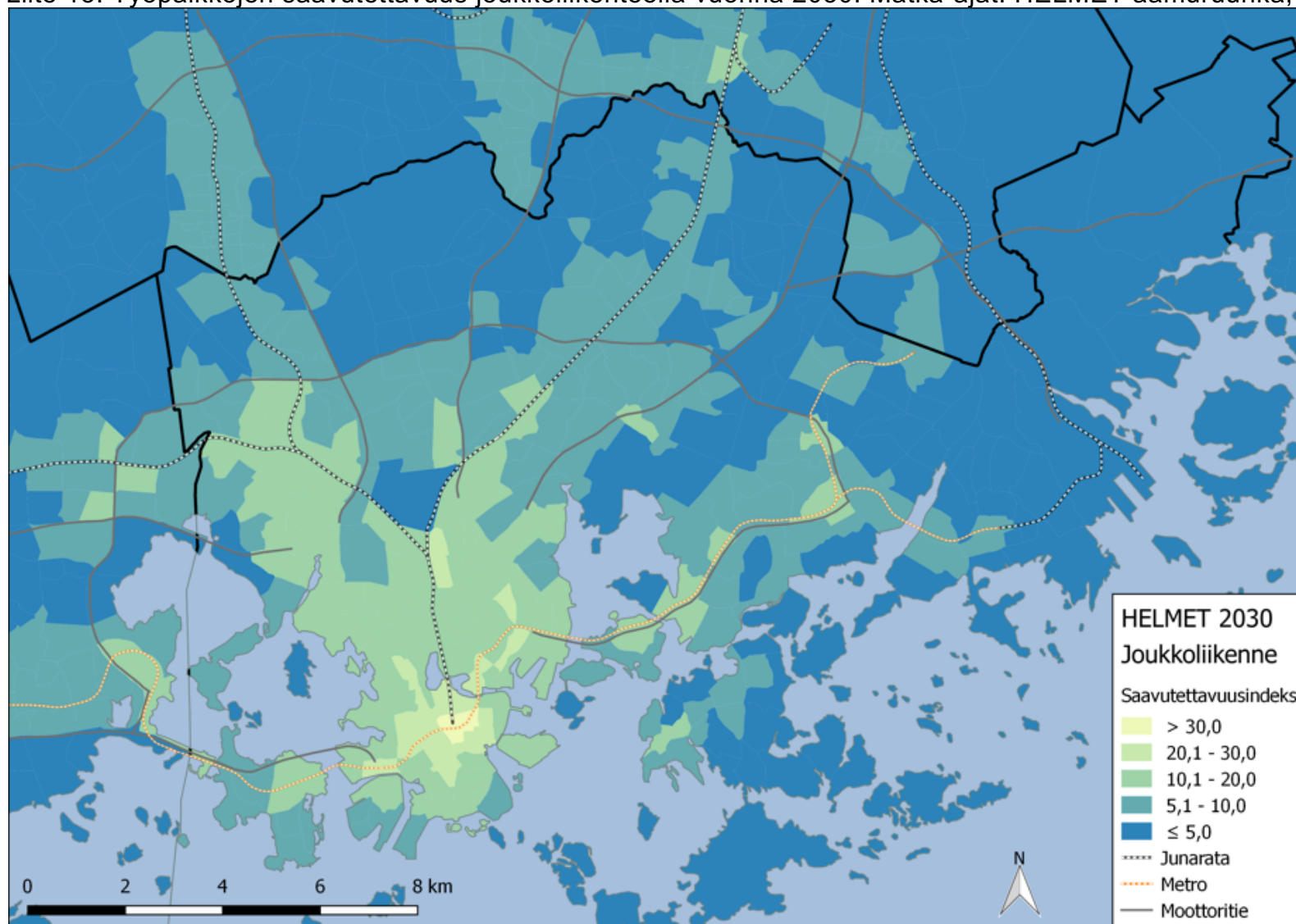
Liite 11. Autoliikenteen alueelle saapuvien keskimääräisten aamuruuhkan matka-aikojen muutos vuosien 2017 ja 2030 välillä.



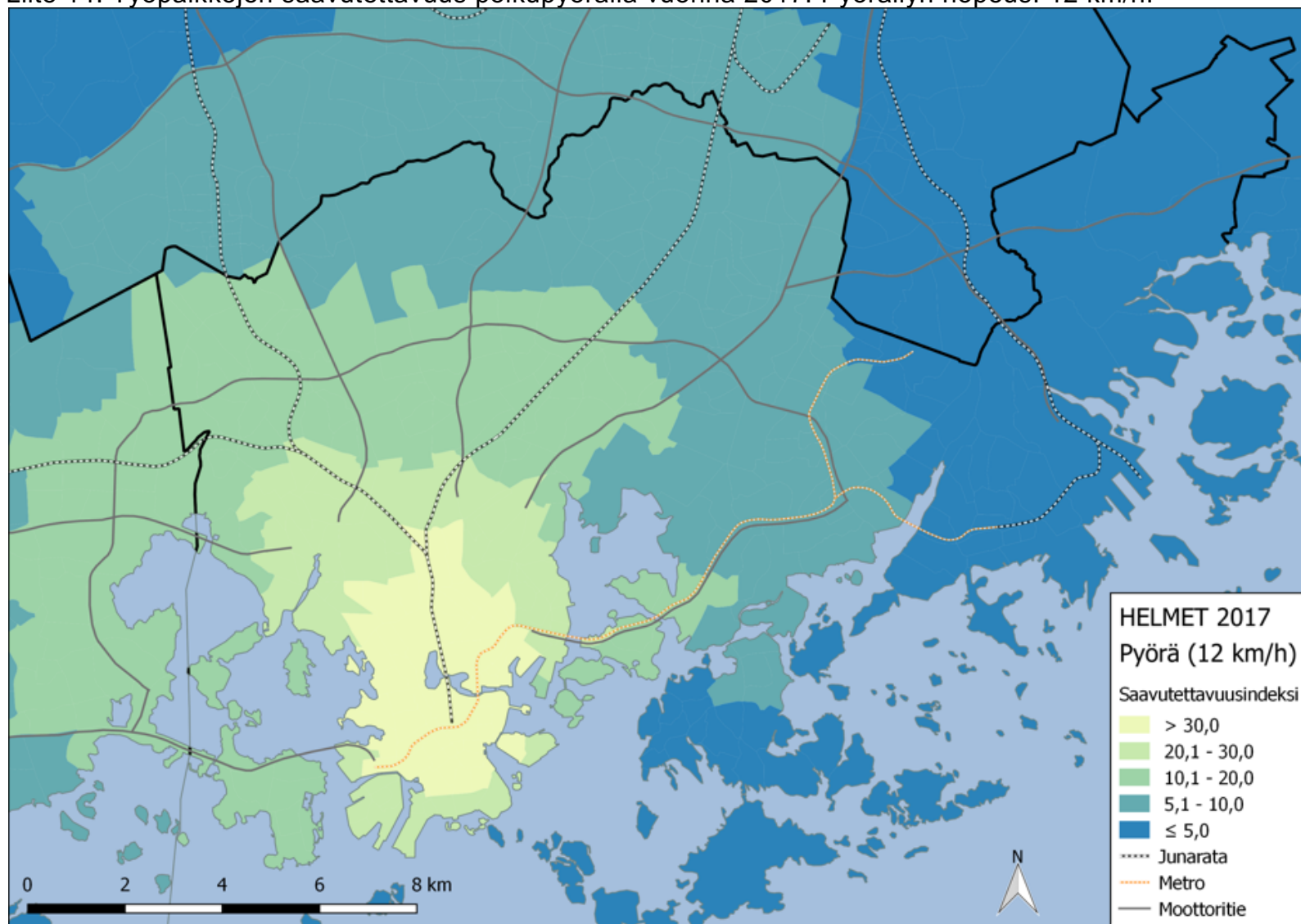
Liite 12. Työpaikkojen saavutettavuus joukkoliikenteellä vuonna 2017. Matka-ajat: HELMET aamuruuhka, alueelta lähtevät.



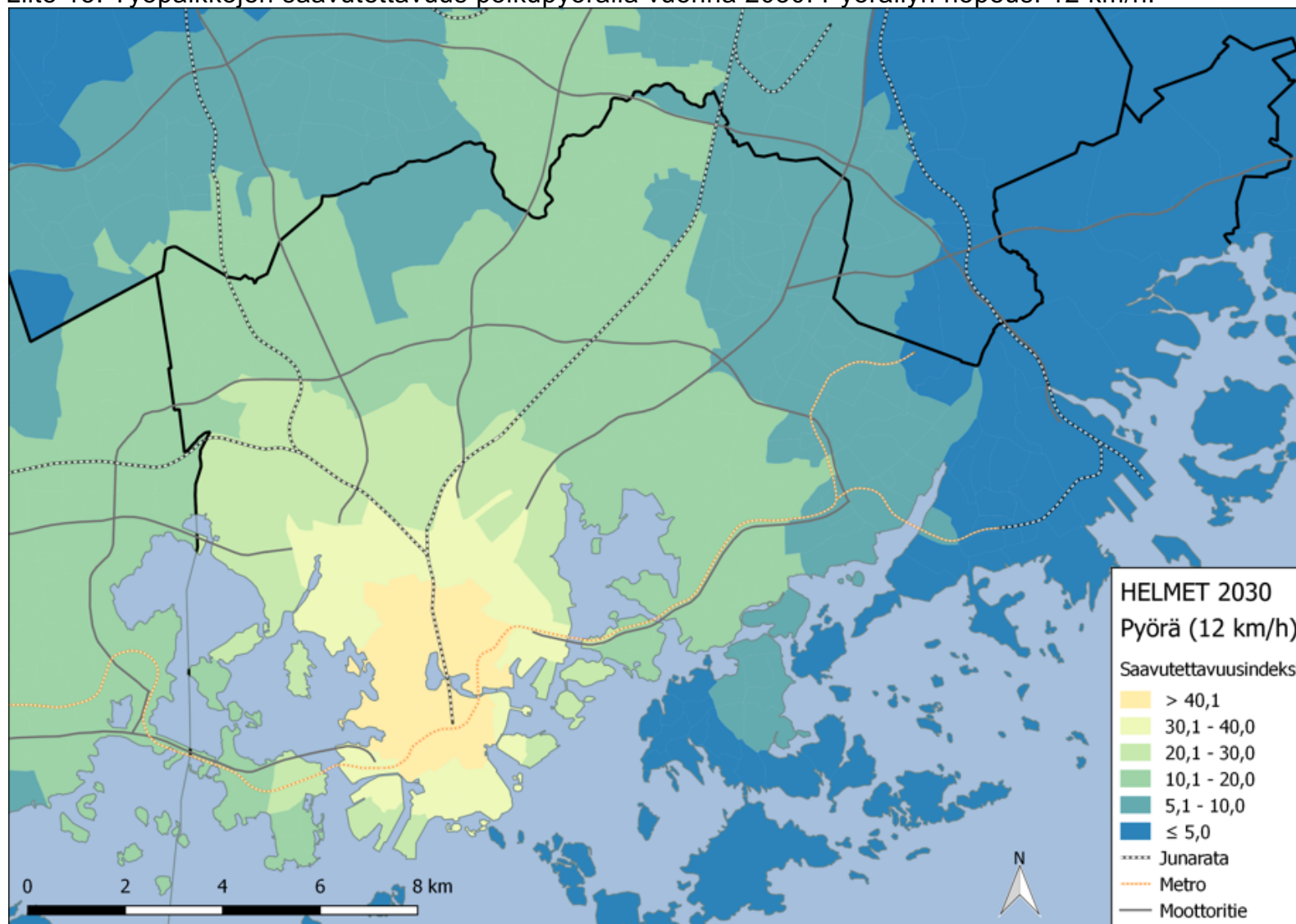
Liite 13. Työpaikkojen saavutettavuus joukkoliikenteellä vuonna 2030. Matka-ajat: HELMET aamuruuhka, alueelta lähtevät.



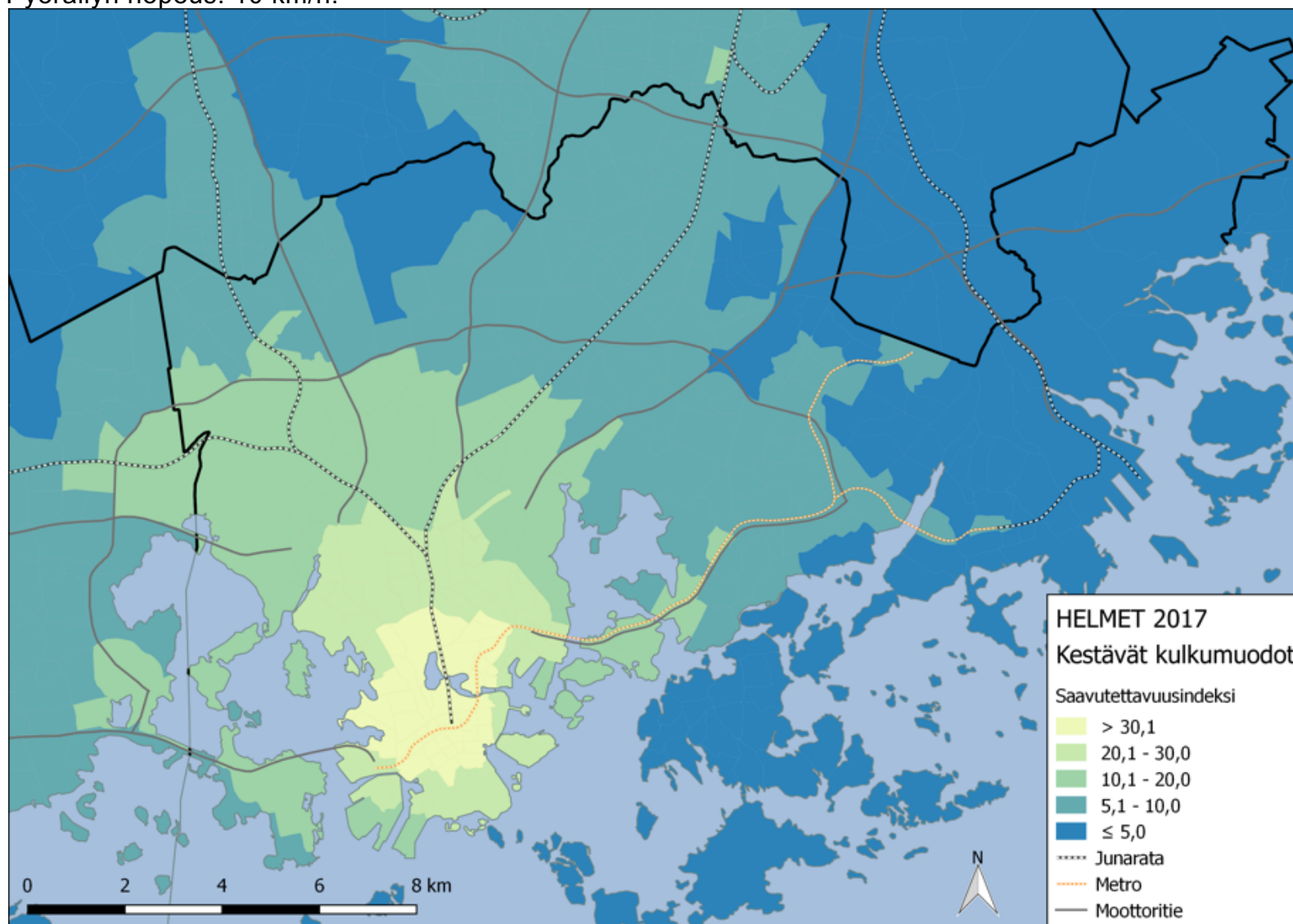
Liite 14. Työpaikkojen saavutettavuus polkupyörällä vuonna 2017. Pyöräilyn nopeus: 12 km/h.



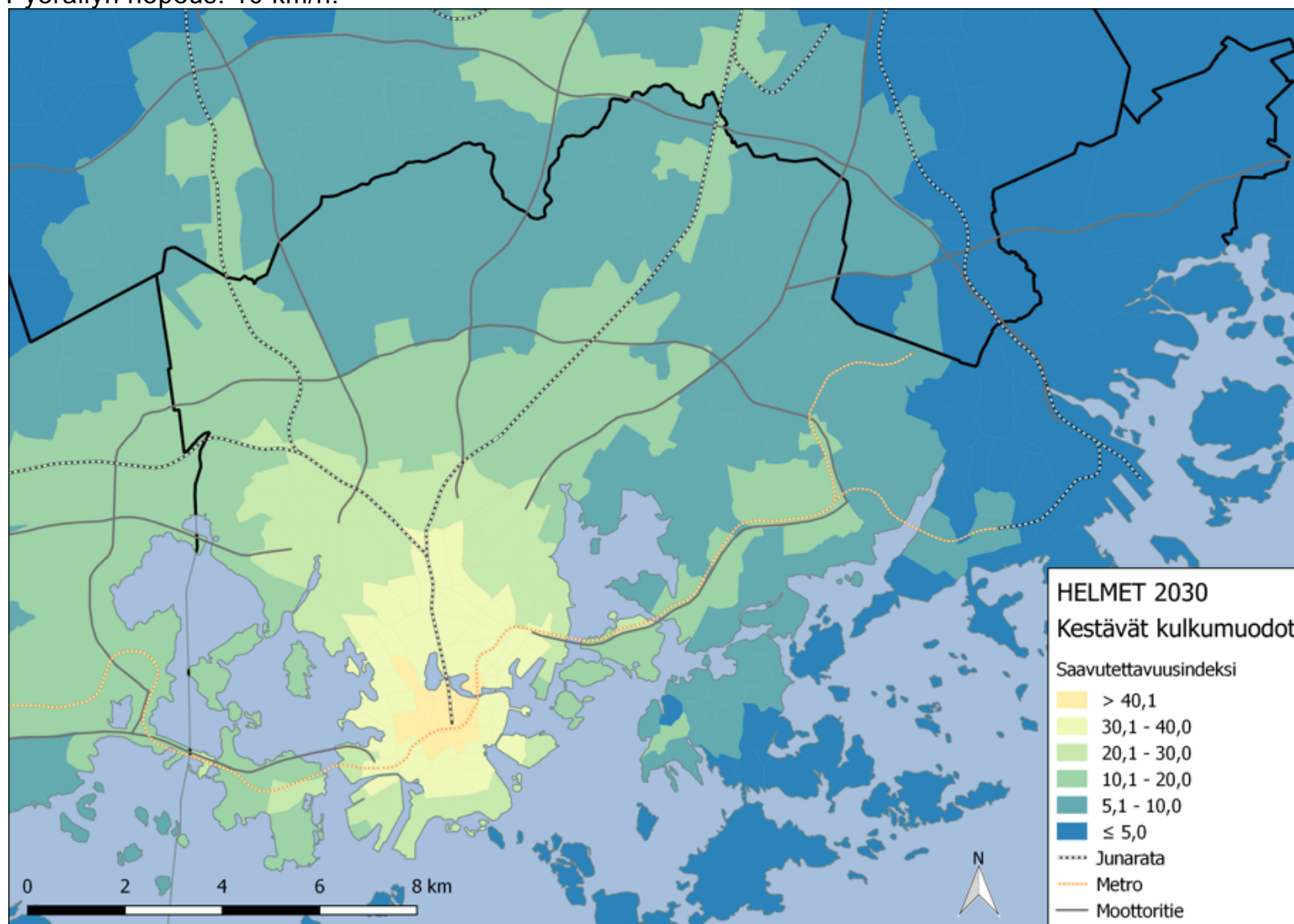
Liite 15. Työpaikkojen saavutettavuus polkupyörällä vuonna 2030. Pyöräilyn nopeus: 12 km/h.



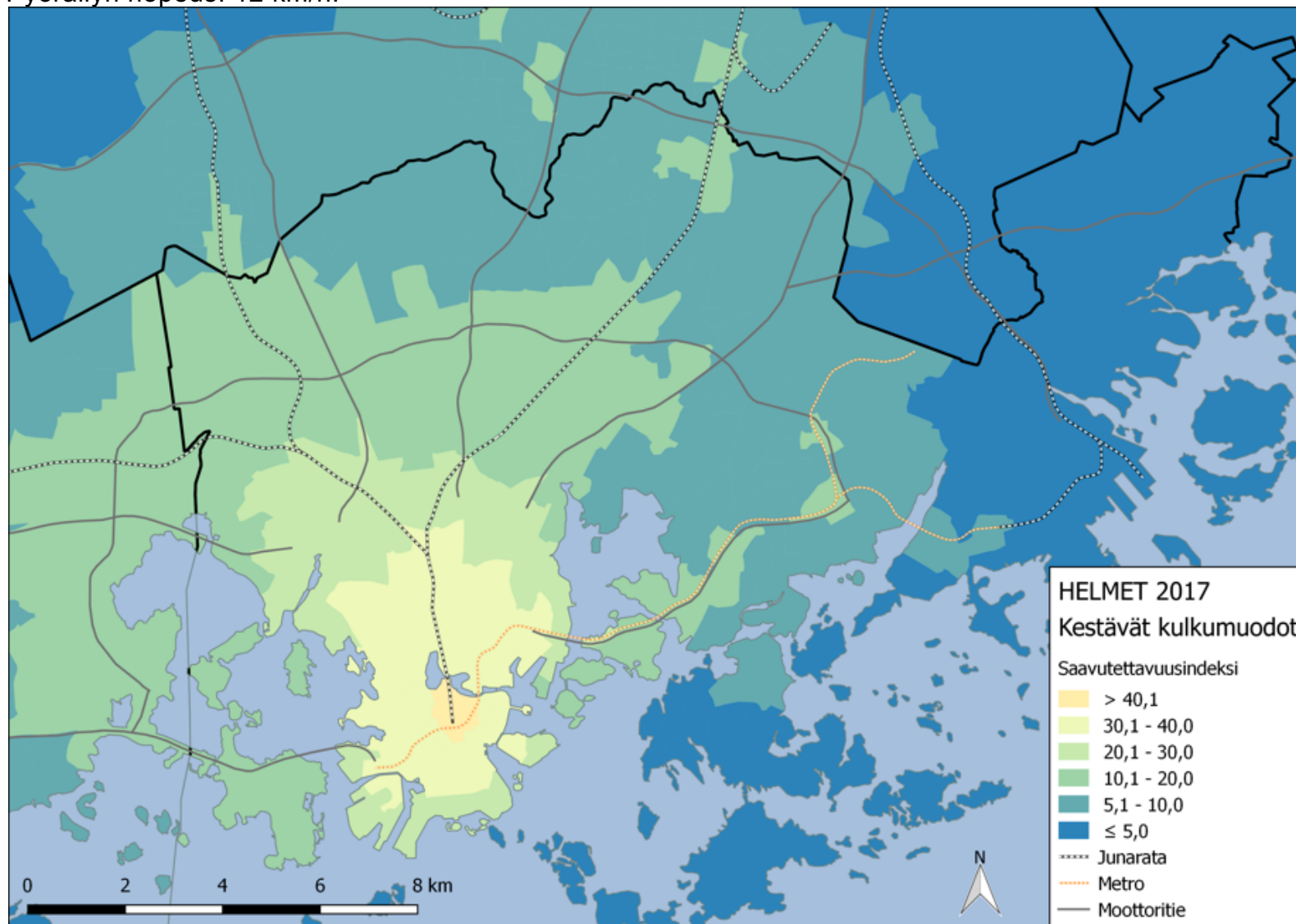
Liite 16. Työpaikkojen saavutettavuus kestävillä kulkumuodoilla vuonna 2017. Joukkoliikenteen matka-ajat alueelta lähteviä. Pyöräilyn nopeus: 10 km/h.



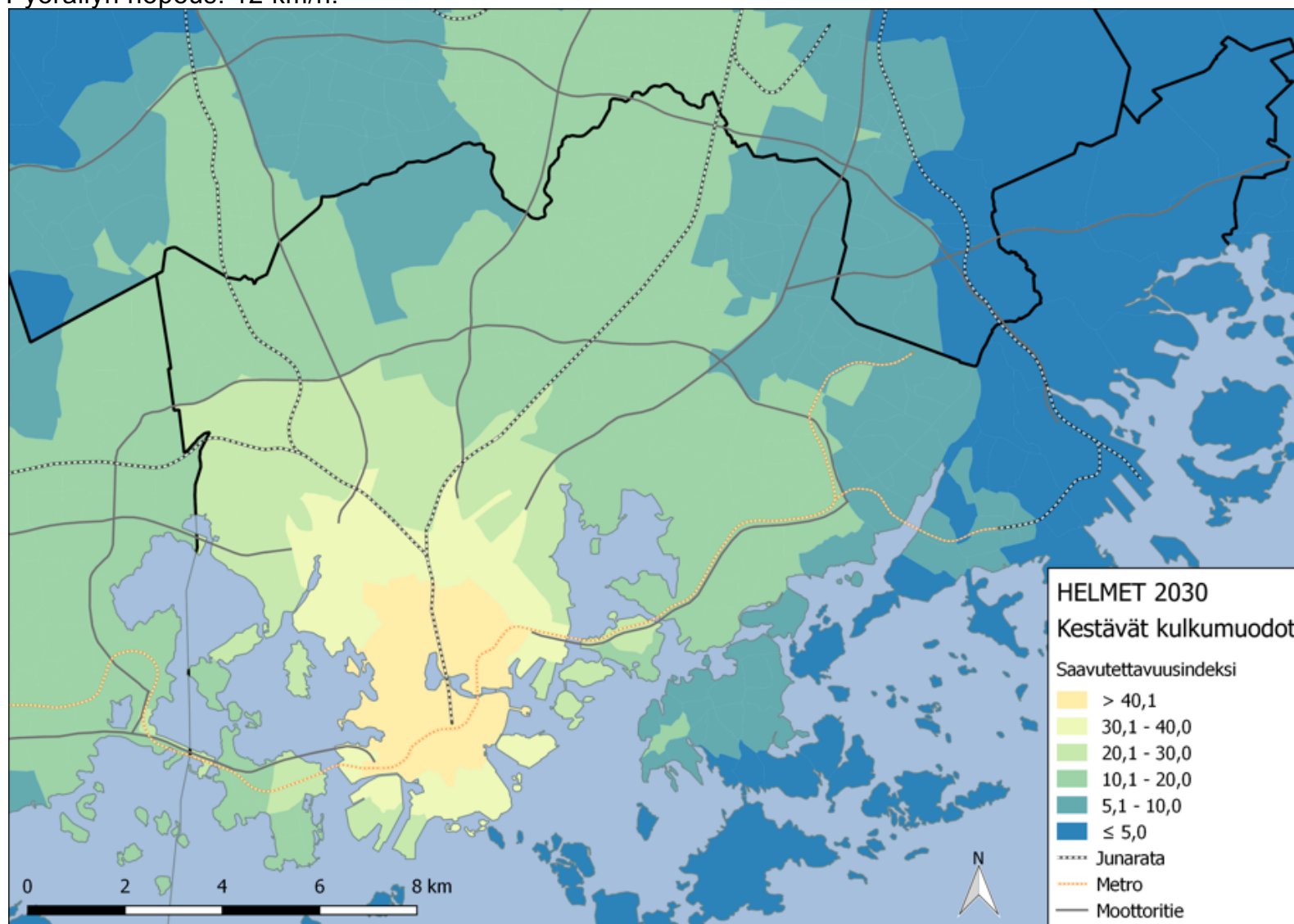
Liite 17. Työpaikkojen saavutettavuus kestävillä kulkumuodoilla vuonna 2030. Joukkoliikenteen matka-ajat alueelta lähteviä. Pyöräilyn nopeus: 10 km/h.



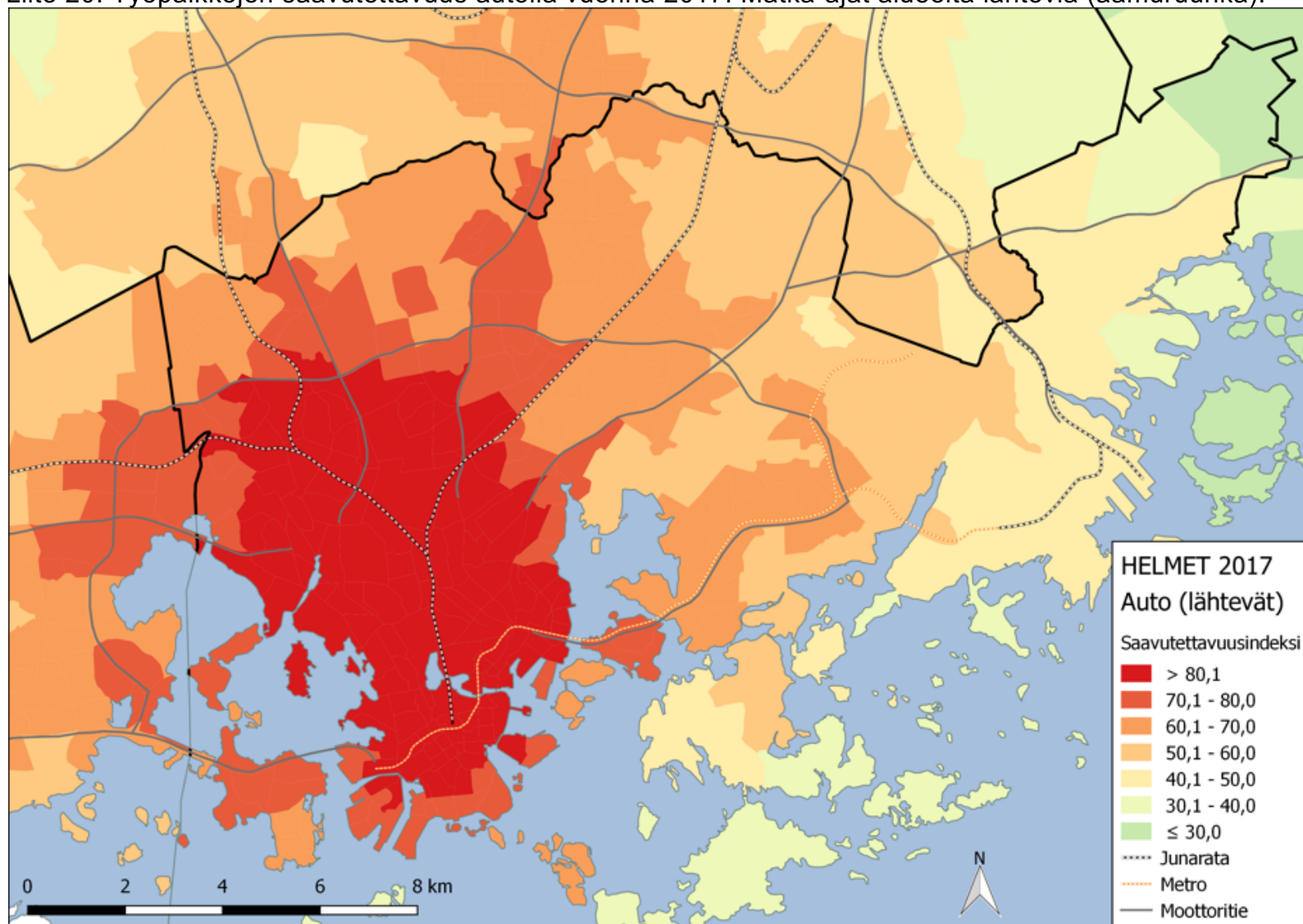
Liite 18. Työpaikkojen saavutettavuus kestävillä kulkumuodoilla vuonna 2017. Joukkoliikenteen matka-ajat alueelta lähteviä. Pyöräilyn nopeus: 12 km/h.



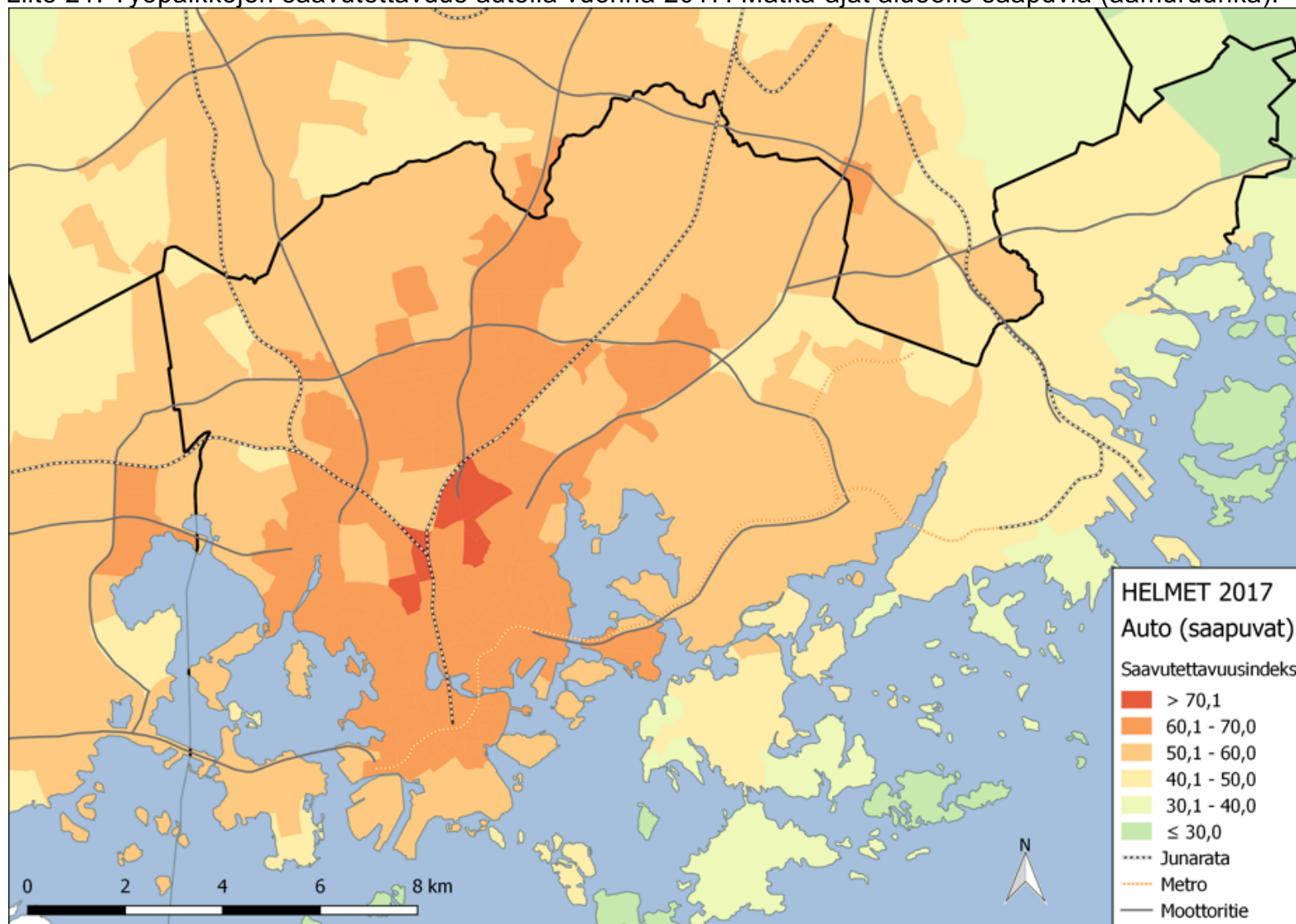
Liite 19. Työpaikkojen saavutettavuus kestävillä kulkumuodoilla vuonna 2030. Joukkoliikenteen matka-ajat alueelta lähteviä. Pyöräilyn nopeus: 12 km/h.



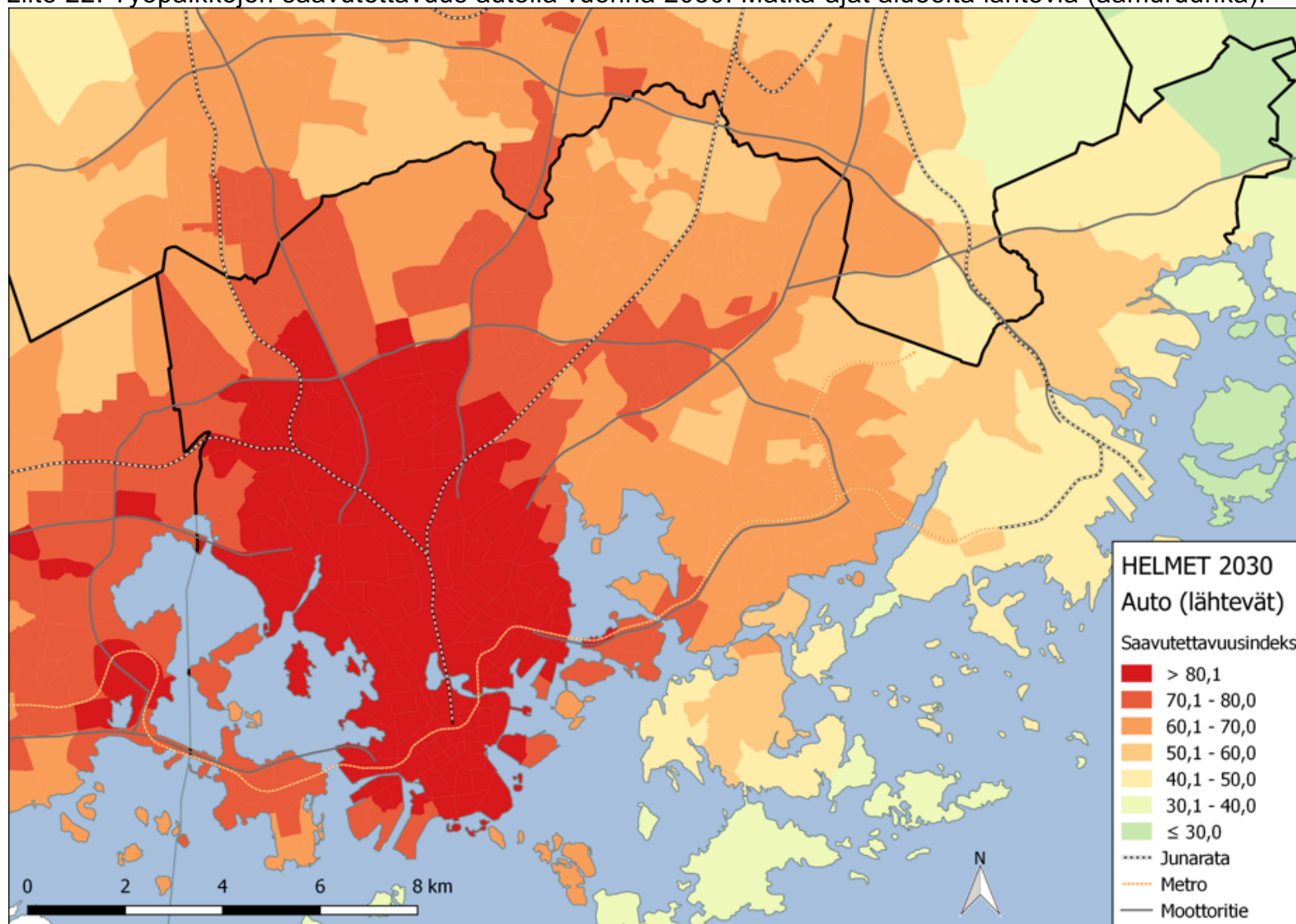
Liite 20. Työpaikkojen saavutettavuus autolla vuonna 2017. Matka-ajat alueelta lähteviä (aamuruuhka).



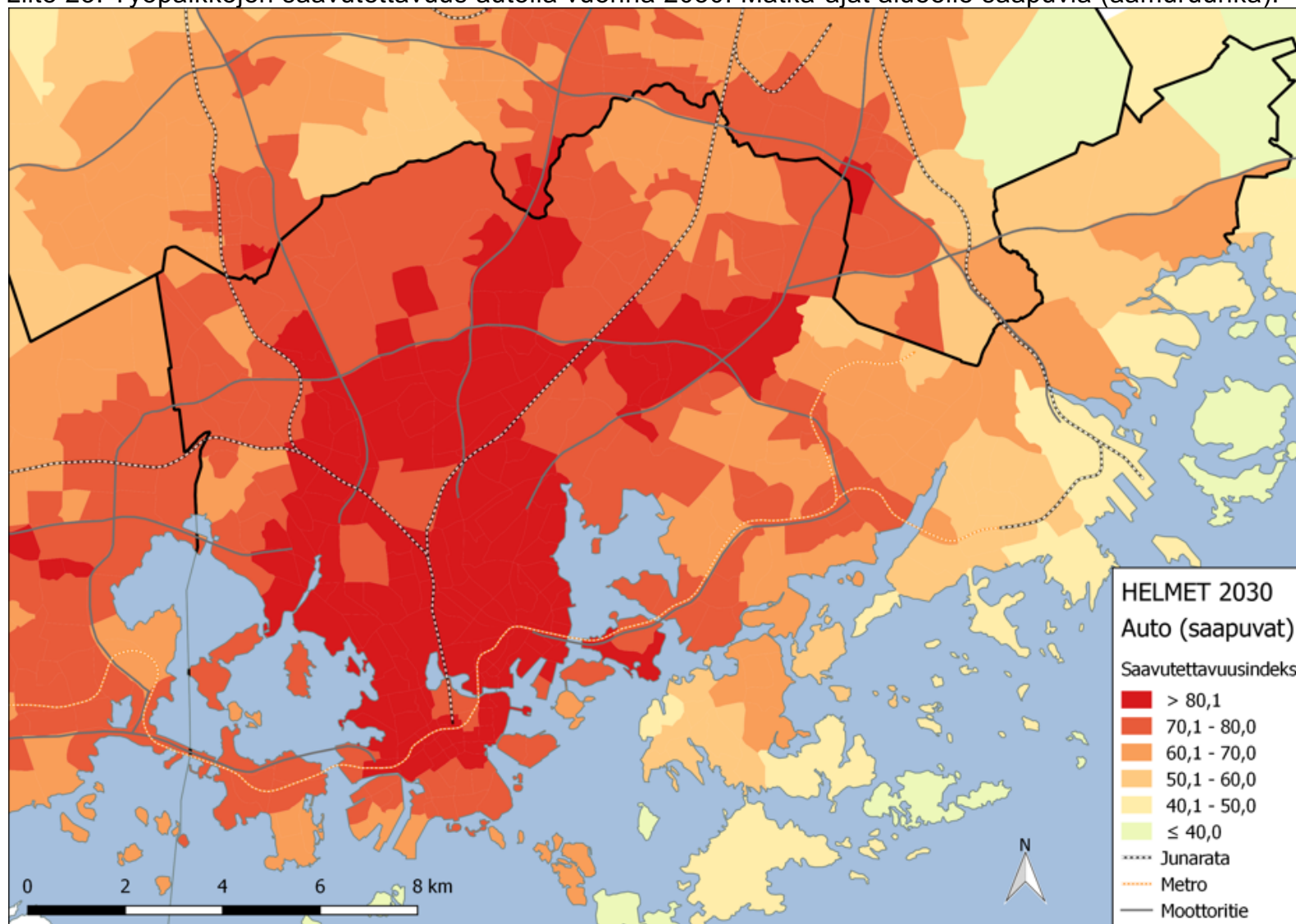
Liite 21. Työpaikkojen saavutettavuus autolla vuonna 2017. Matka-ajat alueelle saapuvia (aamuruuhka).



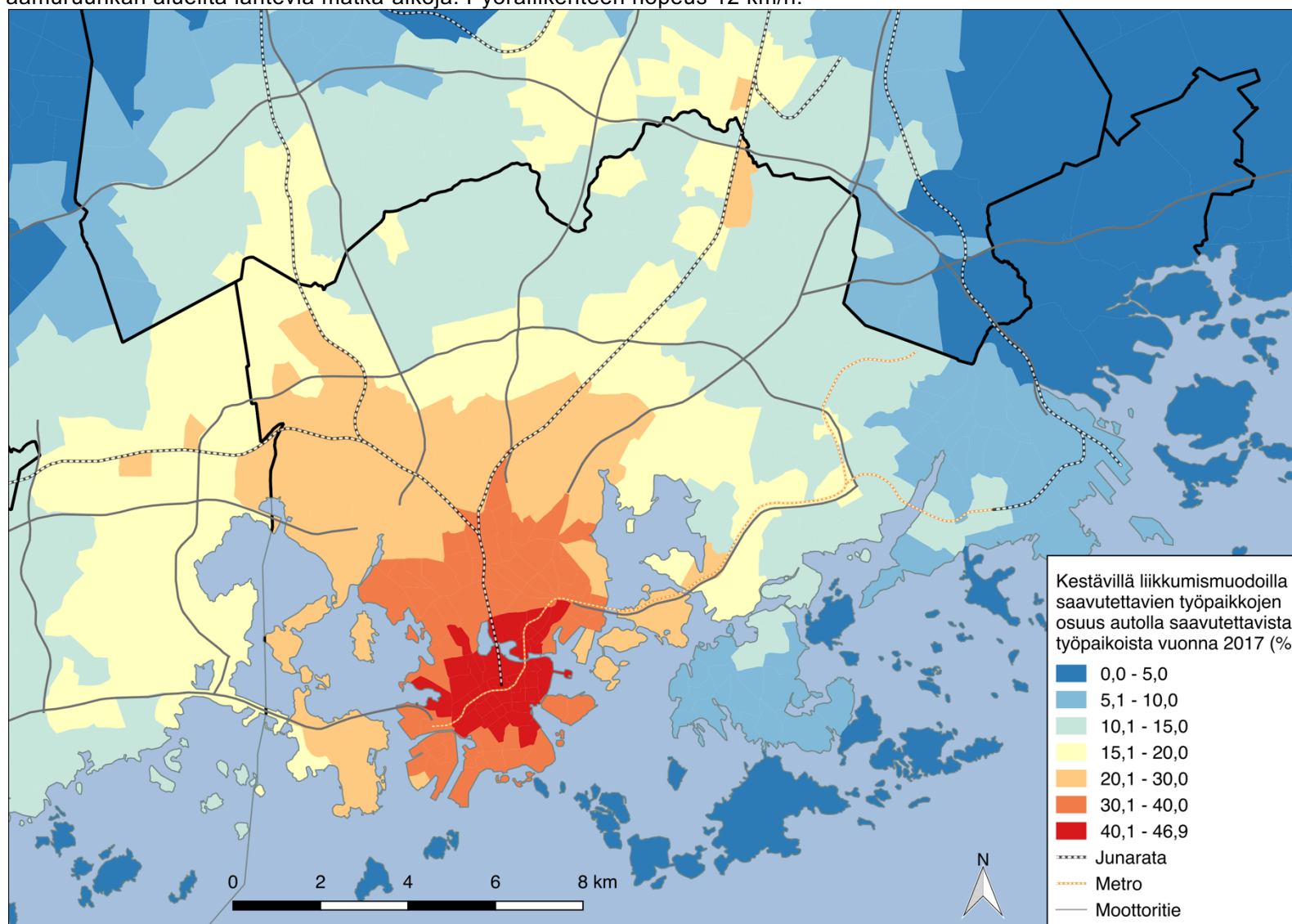
Liite 22. Työpaikkojen saavutettavuus autolla vuonna 2030. Matka-ajat alueelta lähteviä (aamuruuhka).



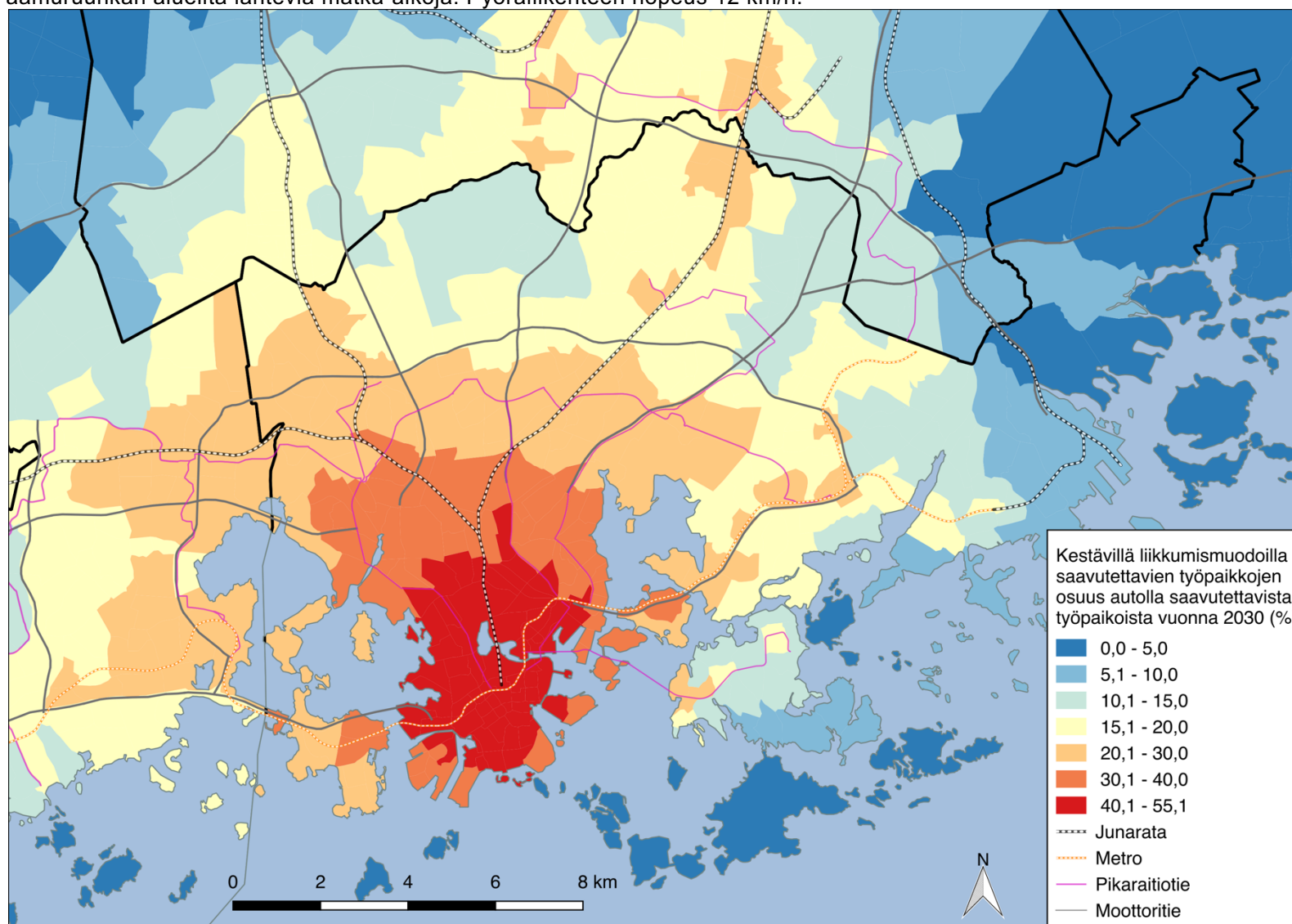
Liite 23. Työpaikkojen saavutettavuus autolla vuonna 2030. Matka-ajat alueelle saapuvia (aamuruuhka).



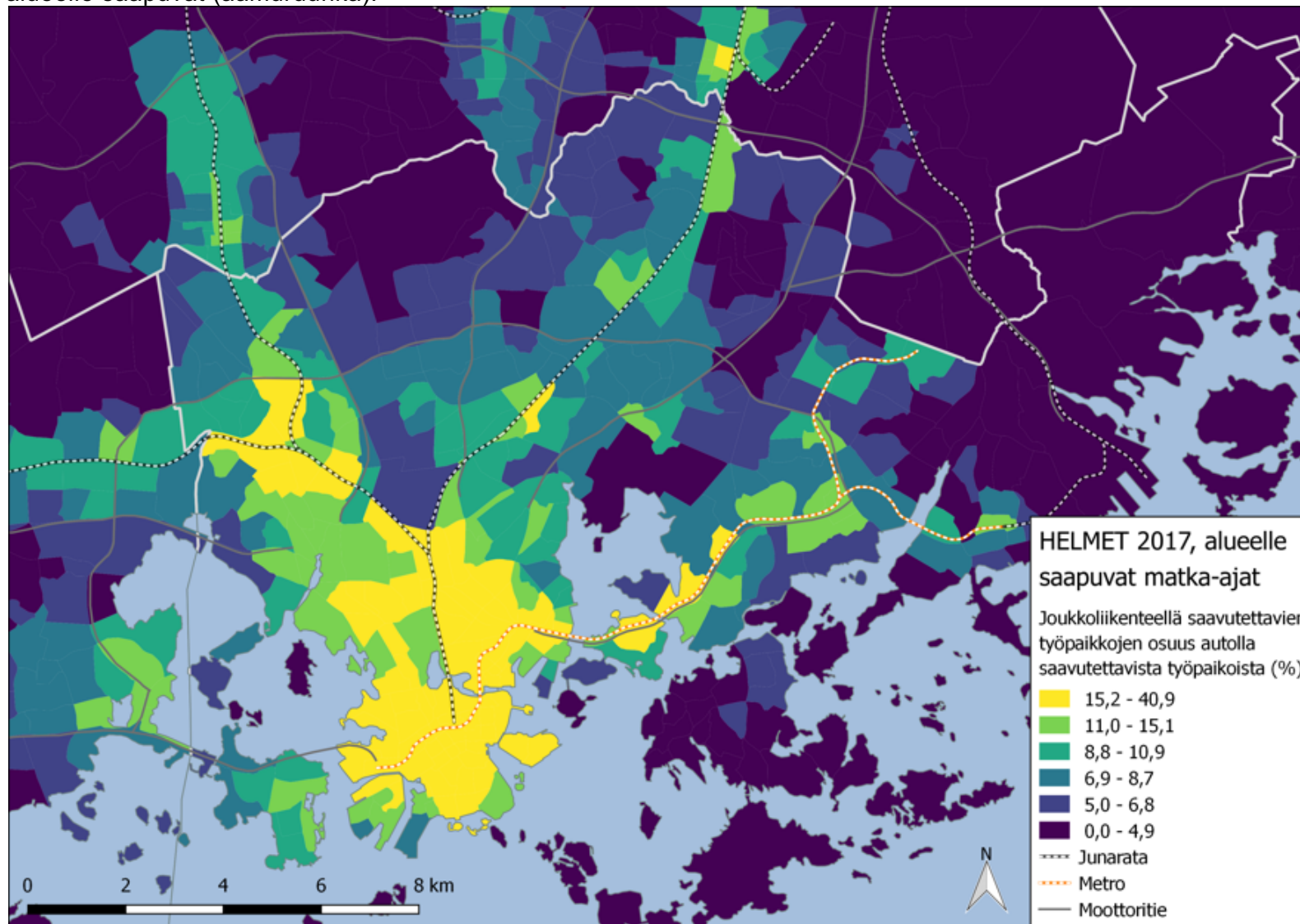
Liite 24. Kestävillä liikemismuodoilla saavutettavien työpaikkojen osuus autolla saavutettavista työpaikoista vuonna 2017. Matka-ajat ovat aamuruuhkan alueilta lähteviä matka-aikoja. Pyöräliikenteen nopeus 12 km/h.



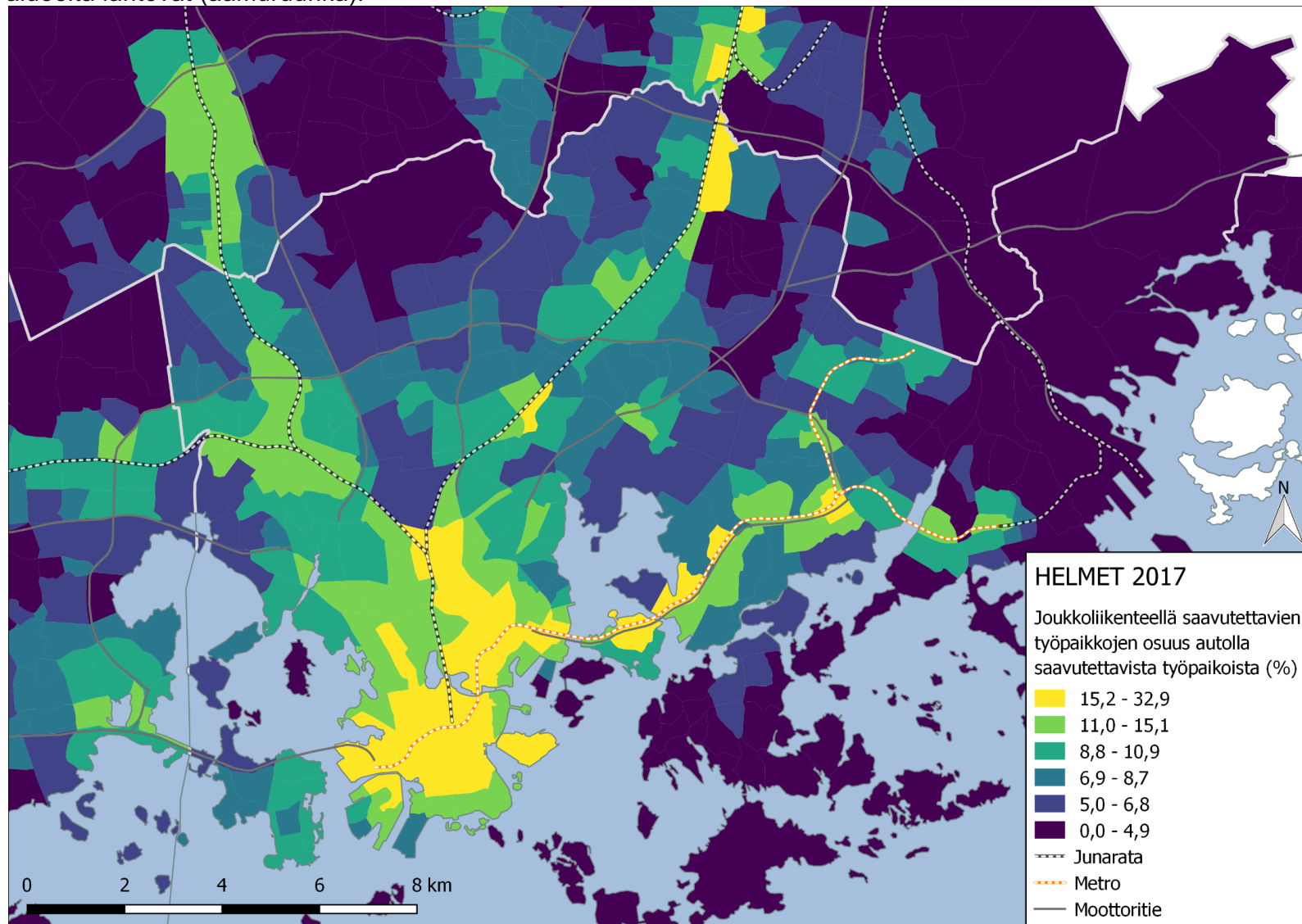
Liite 25. Kestävillä liikkumismuodoilla saavutettavien työpaikkojen osuus autolla saavutettavista työpaikoista vuonna 2030. Matka-ajat ovat aamuruuhkan alueilta lähteviä matka-aikoja. Pyöräliikenteen nopeus 12 km/h.



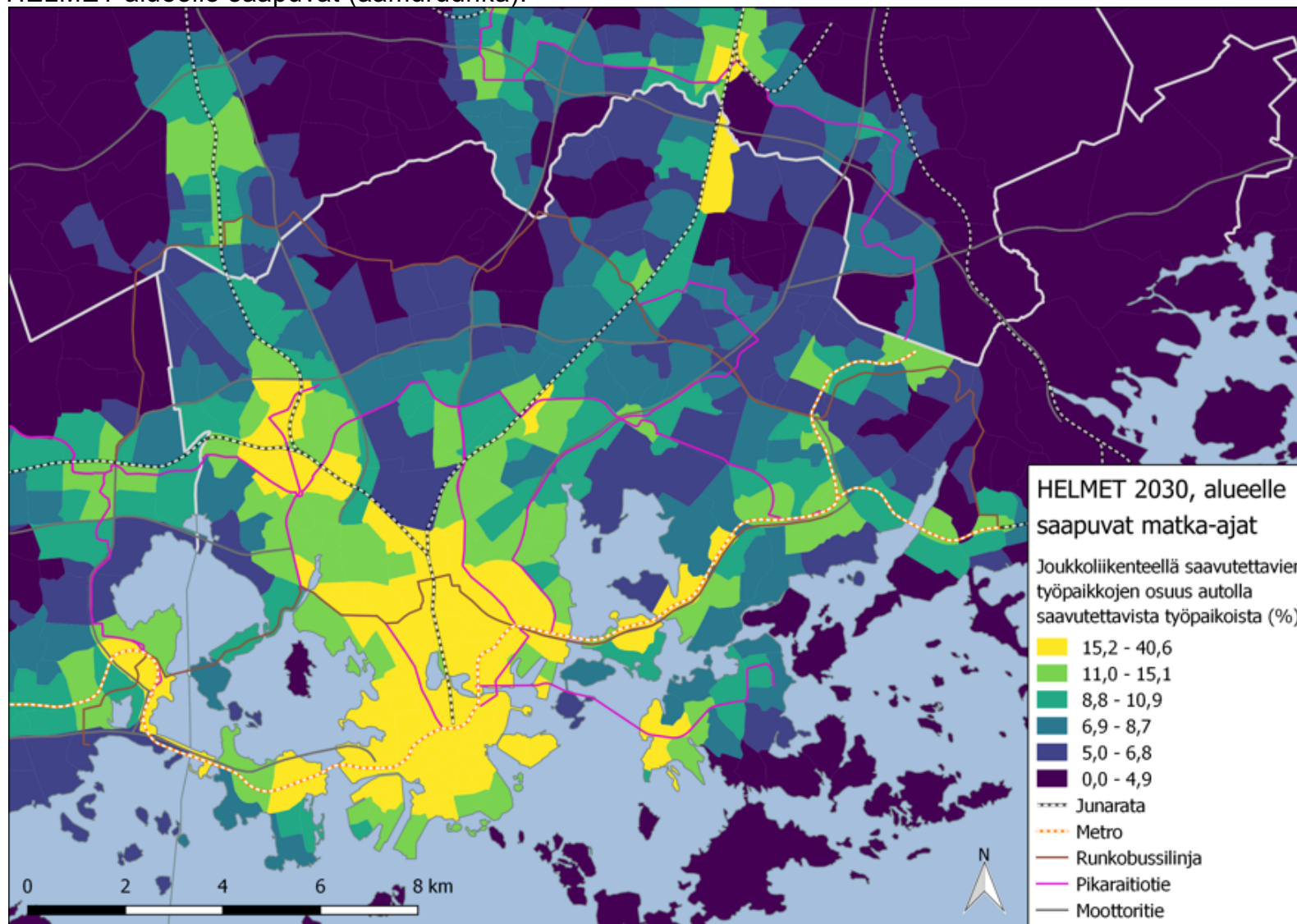
Liite 26. Joukkoliikenteellä saavutettavien työpaikkojen osuus autolla saavutettavista työpaikoista vuonna 2017. Matka-ajat: HELMET alueelle saapuvat (aamuruuhka).



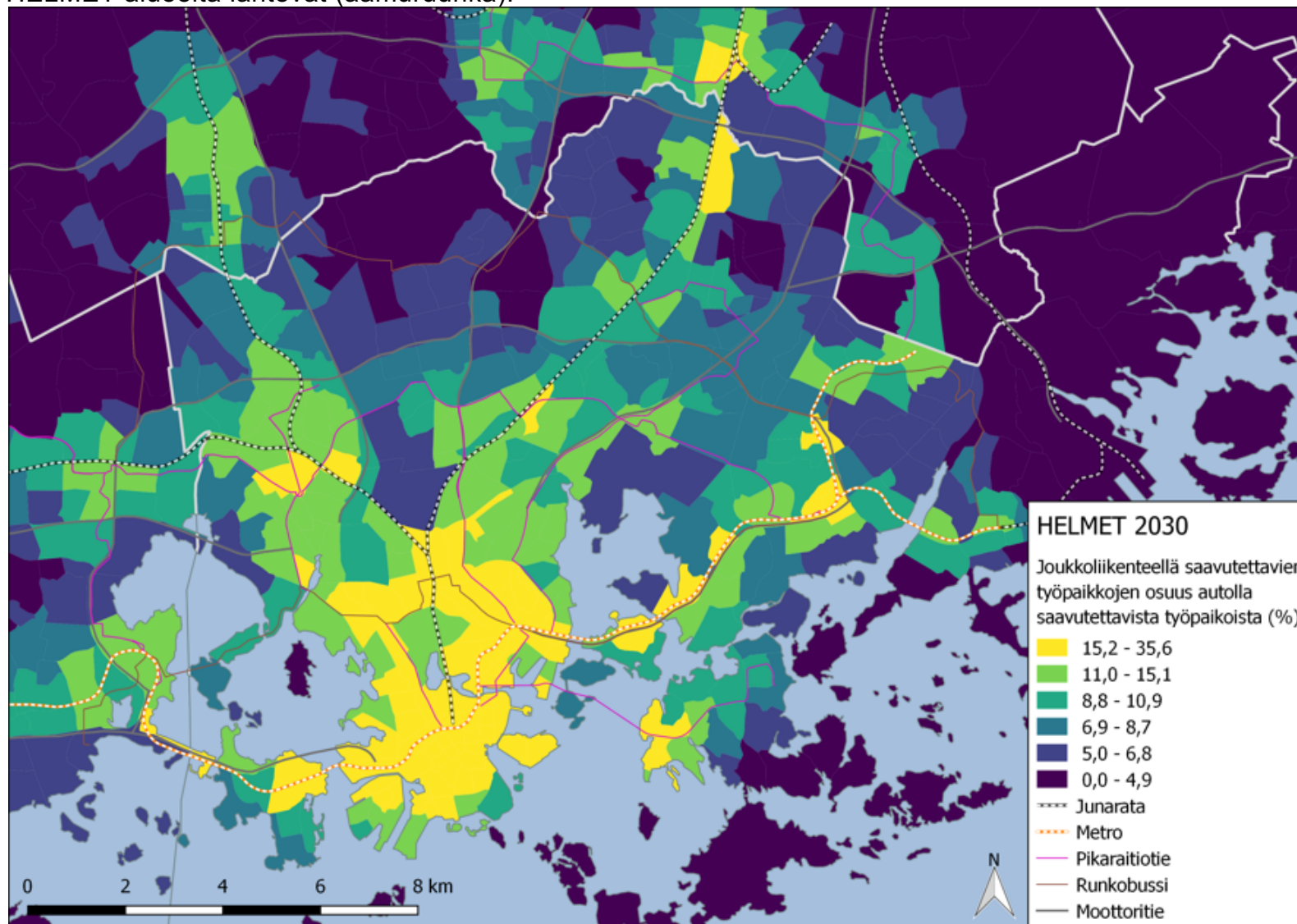
Liite 27. Joukkoliikenteellä saavutettavien työpaikkojen osuus autolla saavutettavista työpaikoista vuonna 2017. Matka-ajat: HELMET alueelta lähtevät (aamuruuhka).



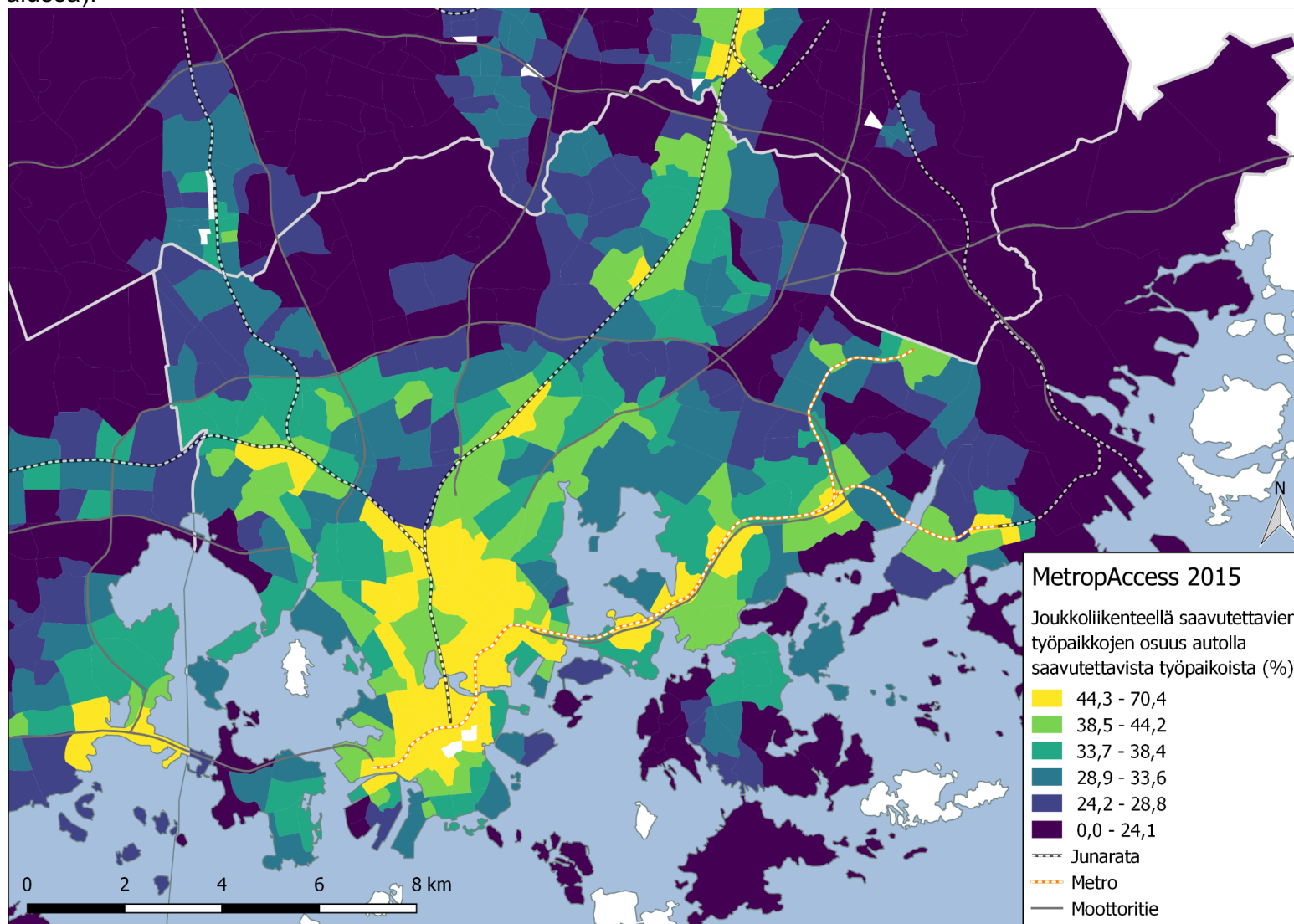
Liite 28. Joukkoliikenteellä saavutettavien työpaikkojen osuus autolla saavutettavista työpaikoista vuonna 2030. Matka-ajat: HELMET alueelle saapuvat (aamuruuhka).



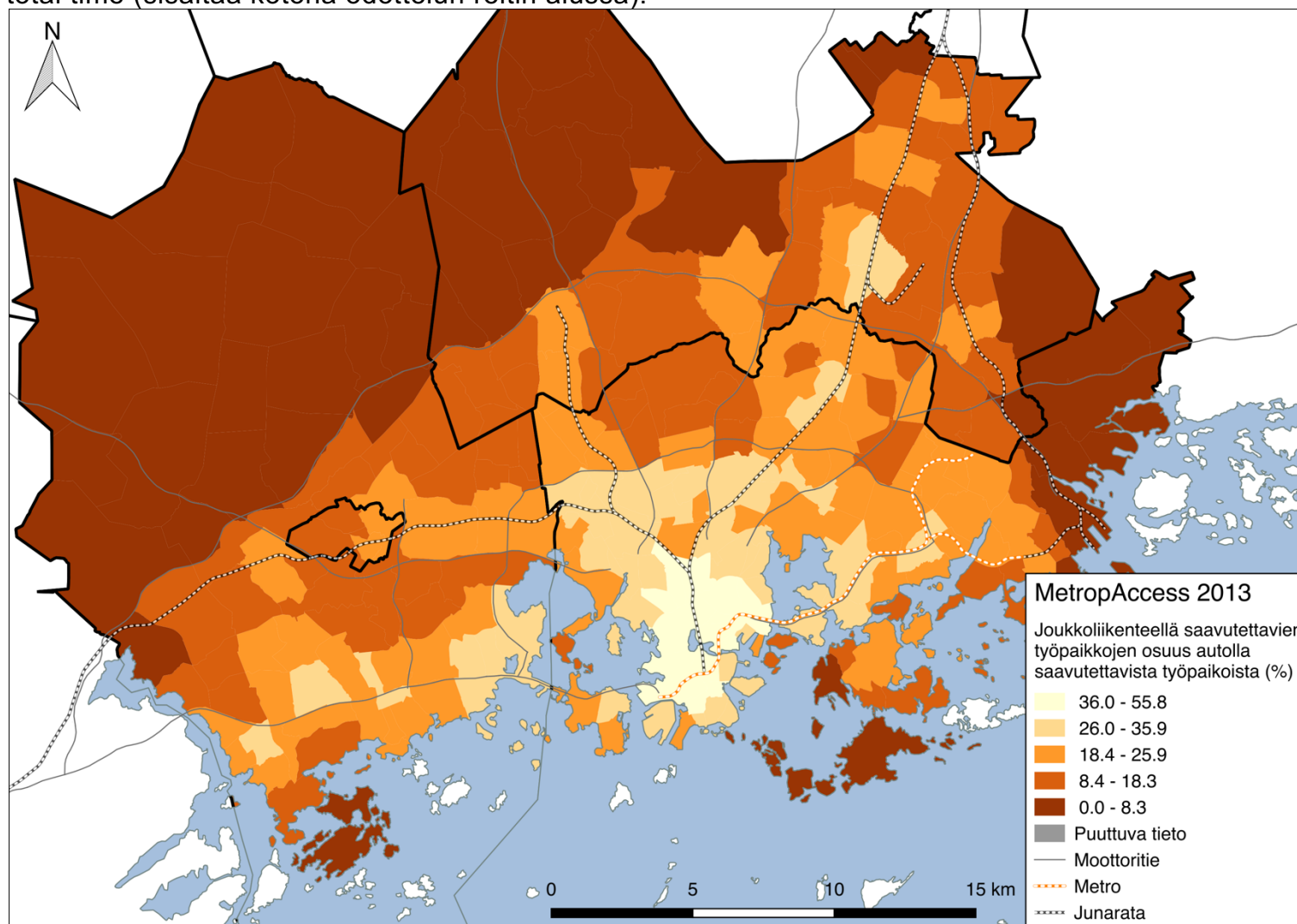
Liite 29. Joukkoliikenteellä saavutettavien työpaikkojen osuus autolla saavutettavista työpaikoista vuonna 2030. Matka-ajat: HELMET alueelta lähtevät (aamuruuhka).



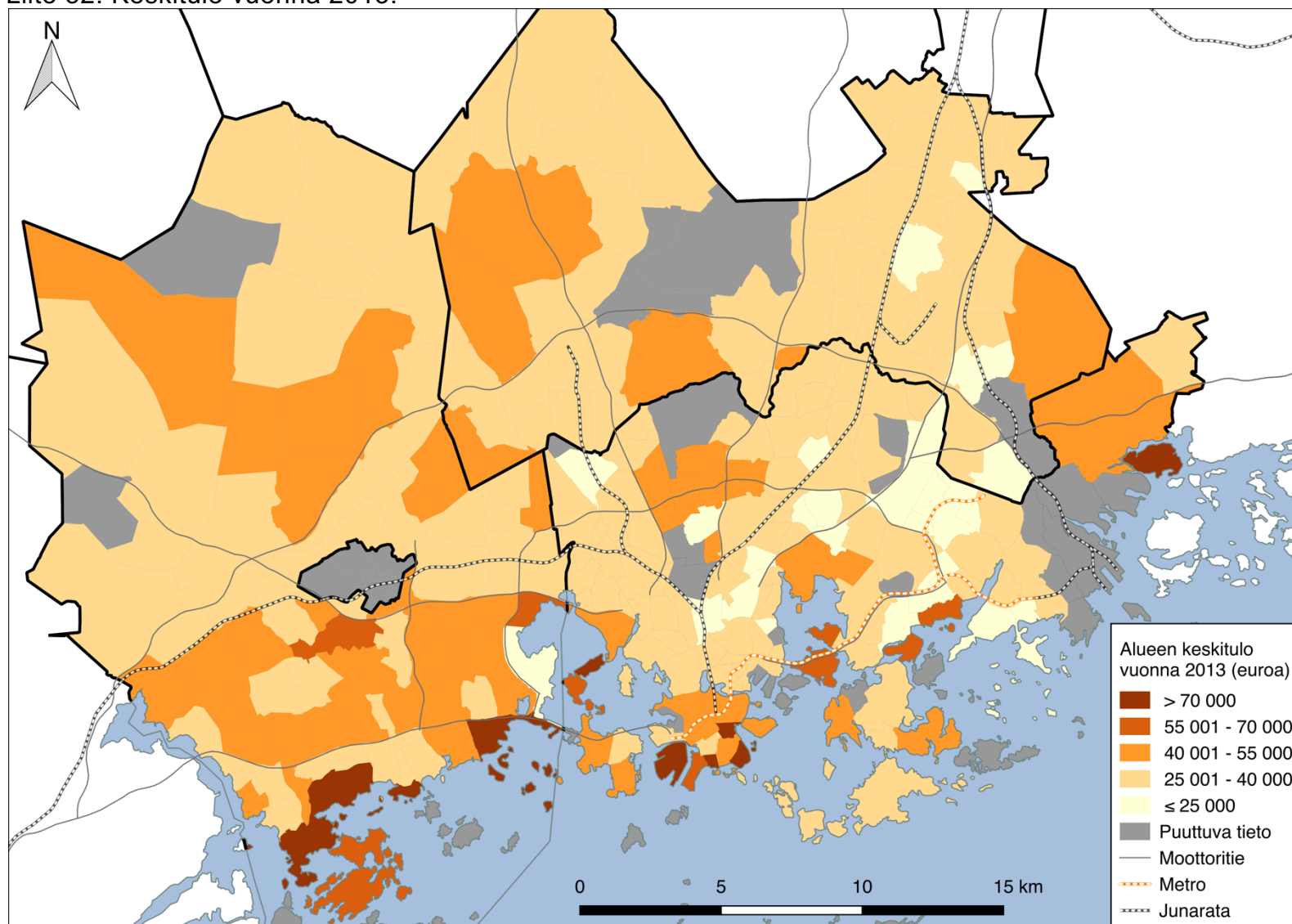
Liite 30. Joukkoliikenteellä saavutettavien työpaikkojen osuus autolla saavutettavista työpaikoista vuonna 2015. Luokittelu tehty equal count -menetelmällä. Matka-ajat: MetropAccess alueelle saapuvat (aamuruuhka). Reititys: total time (sisältää kotona odottelun reitin alussa).



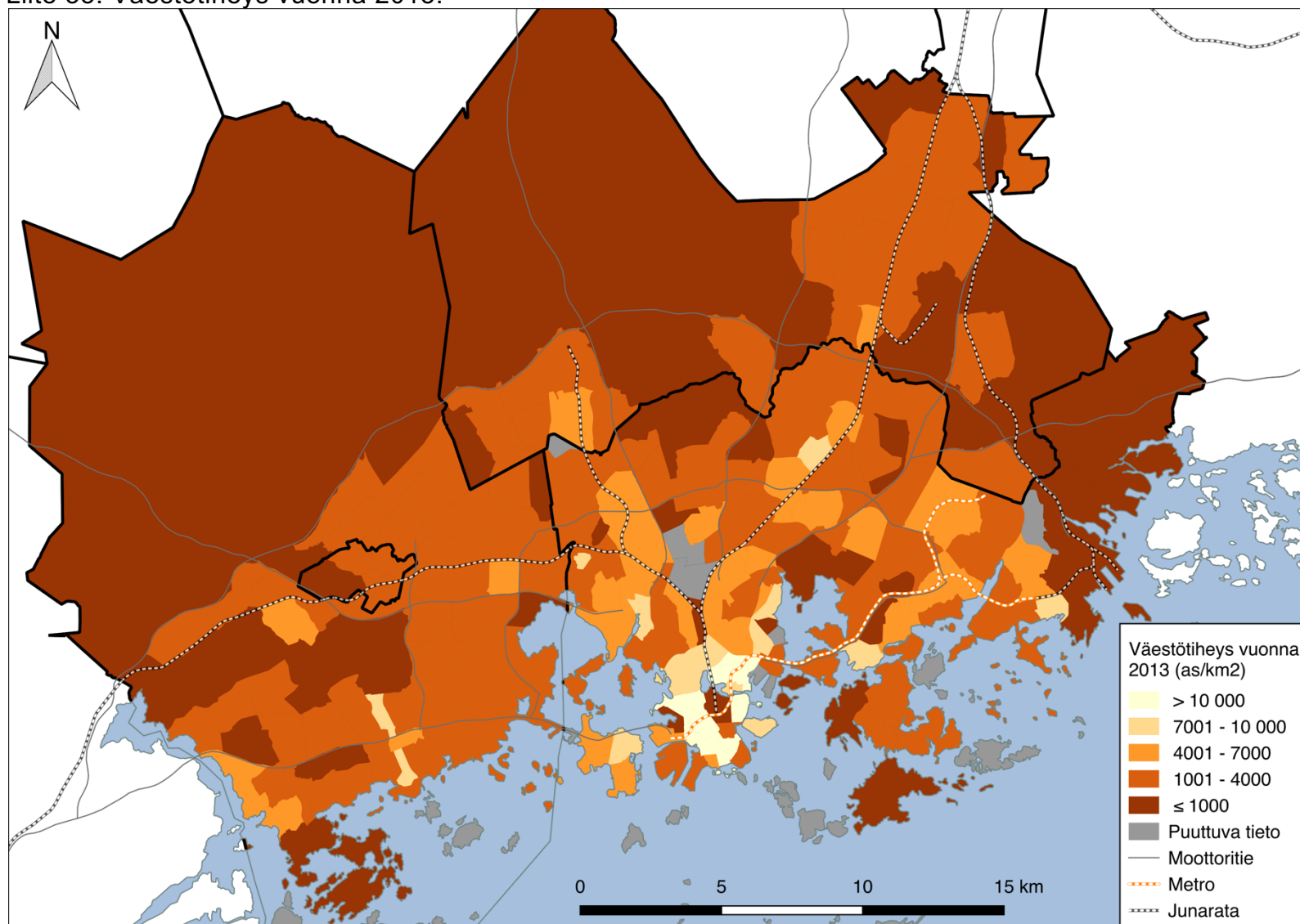
Liite 31. Saavutettavuus joukkoliikenteellä suhteessa autoiluun 2013. Matka-ajat: MetropAccess 2013 keskipäivä. Reititys: total time (sisältää kotona odottelun reitin alussa).



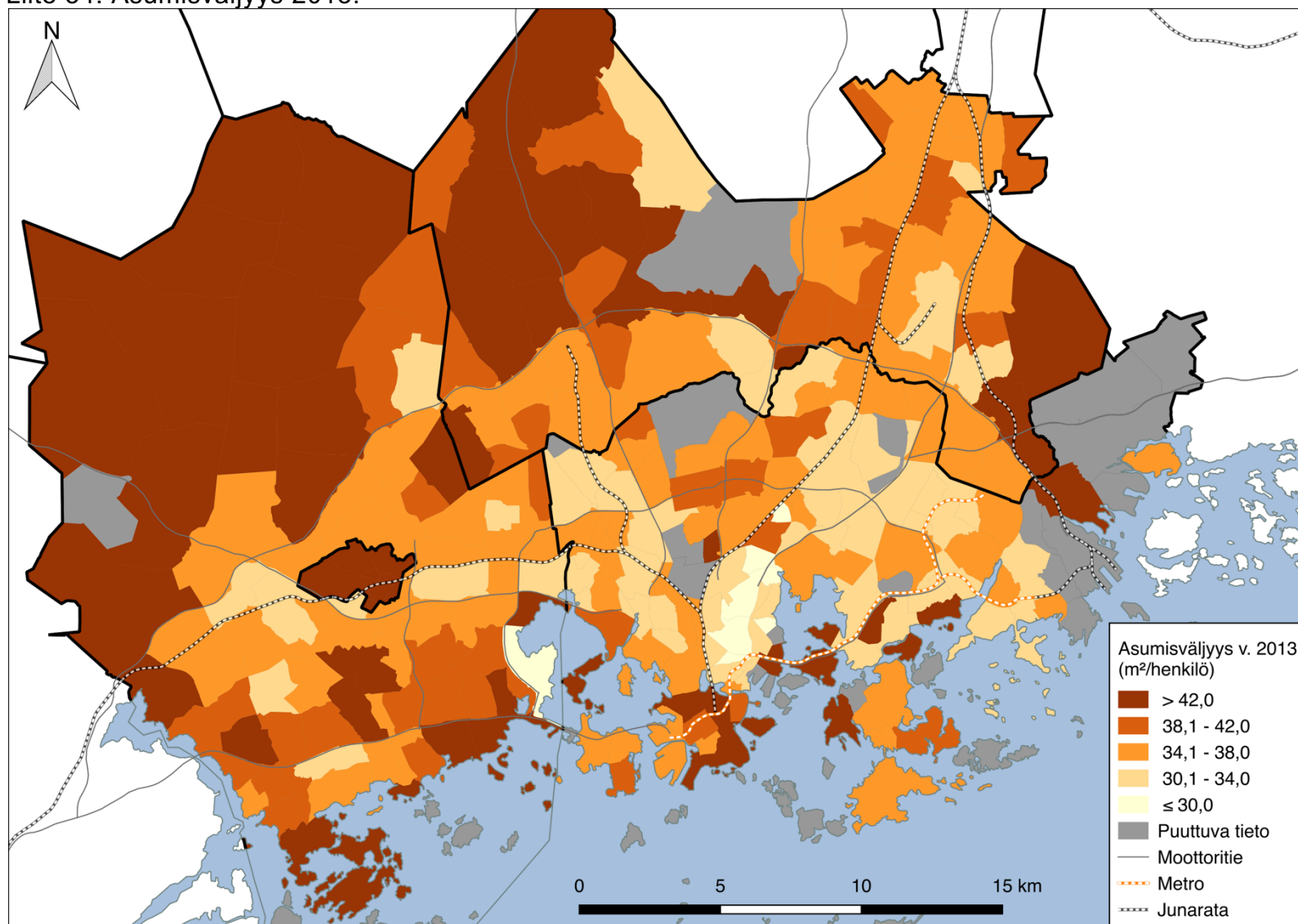
Liite 32. Keskitulo vuonna 2013.



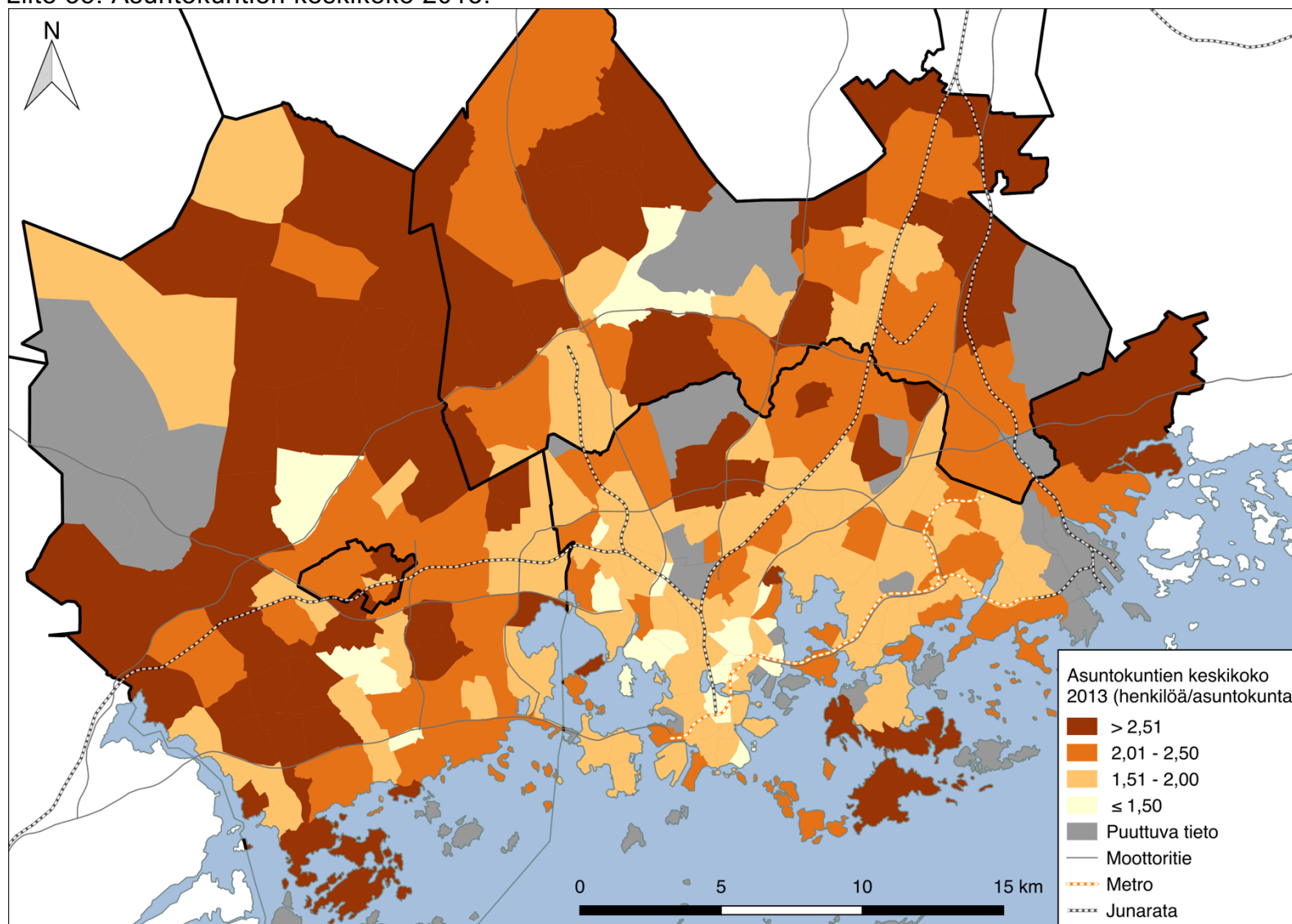
Liite 33. Väestötiheys vuonna 2013.



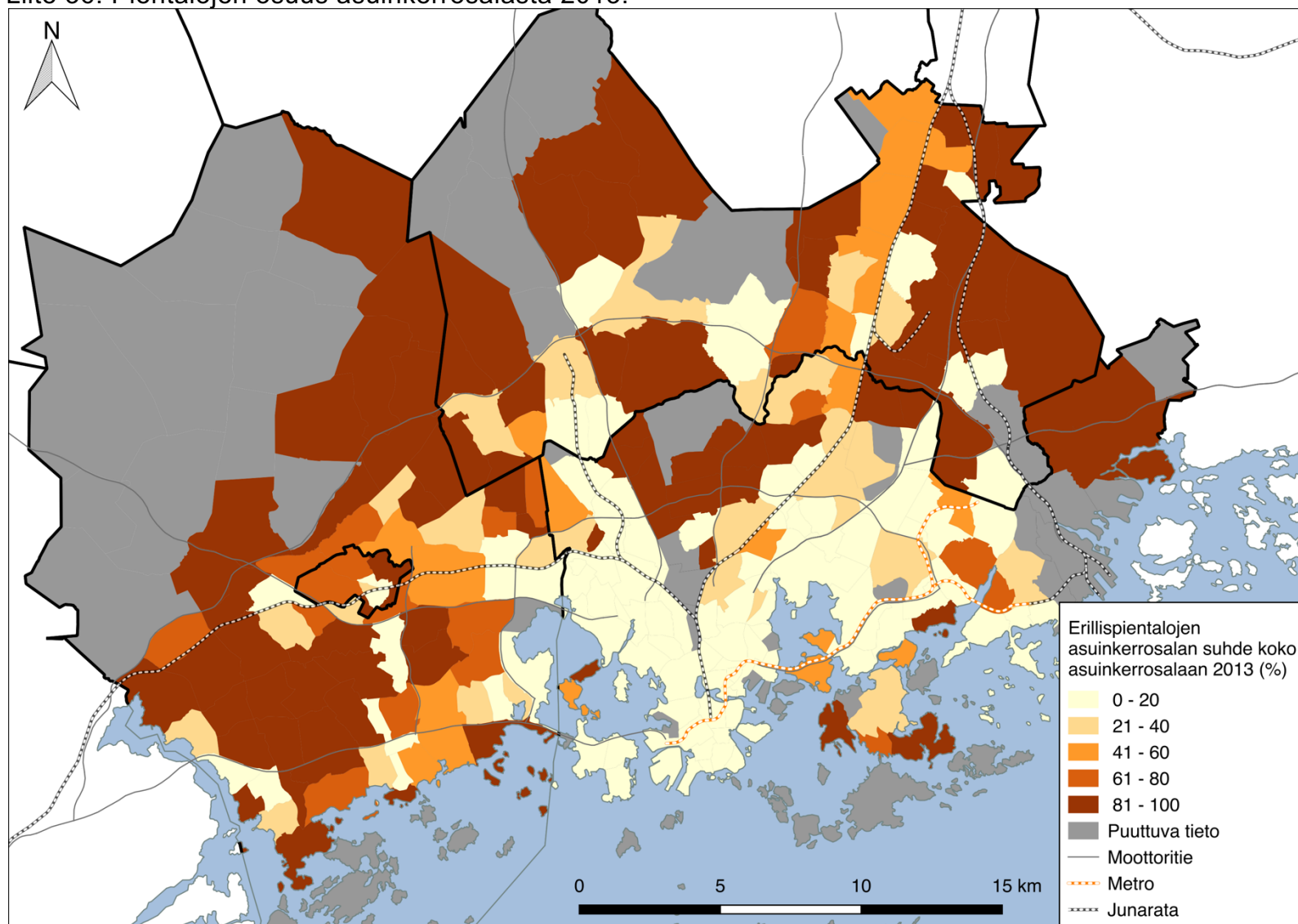
Liite 34. Asumisväljyys 2013.



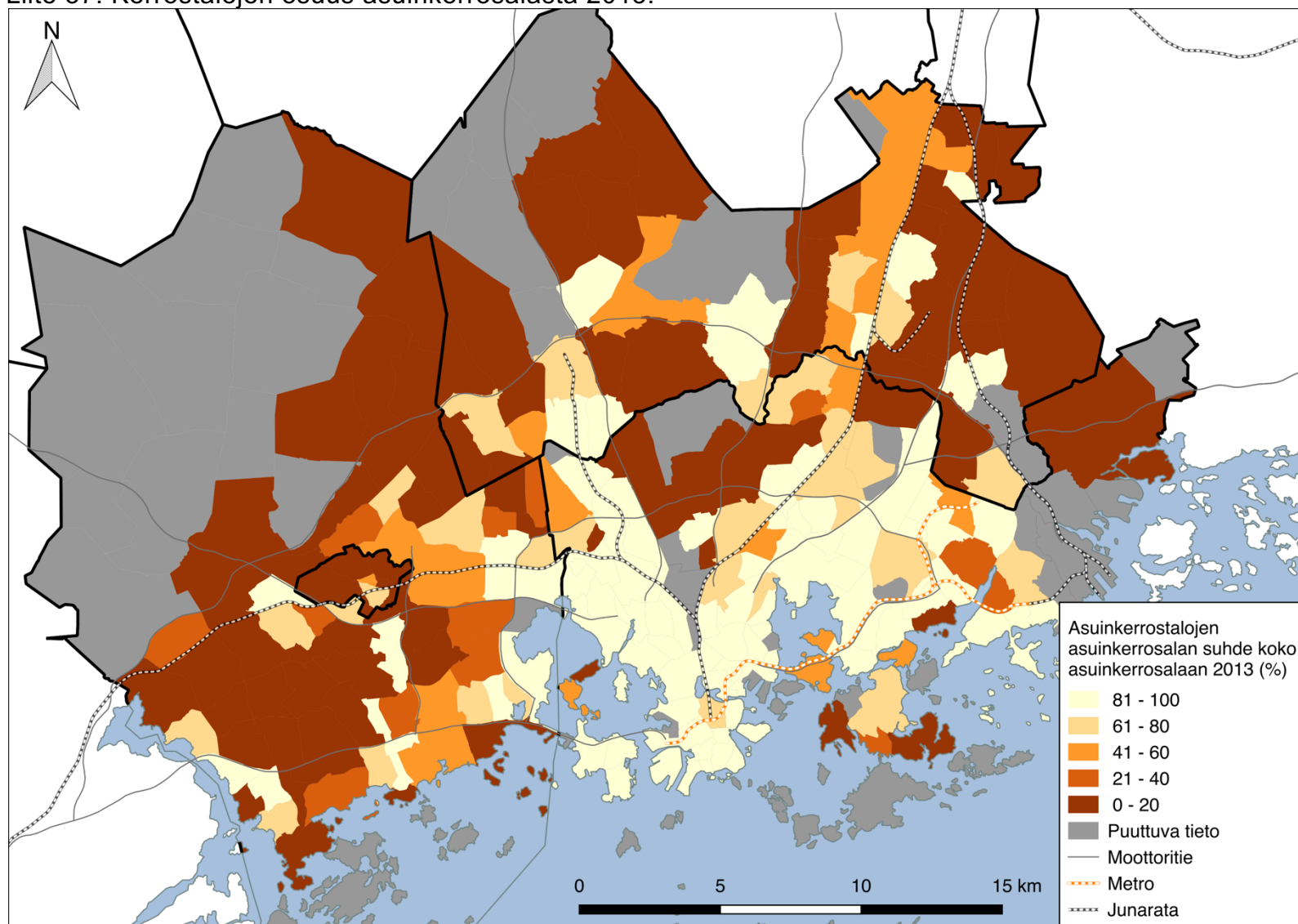
Liite 35. Asuntokuntien keskikoko 2013.



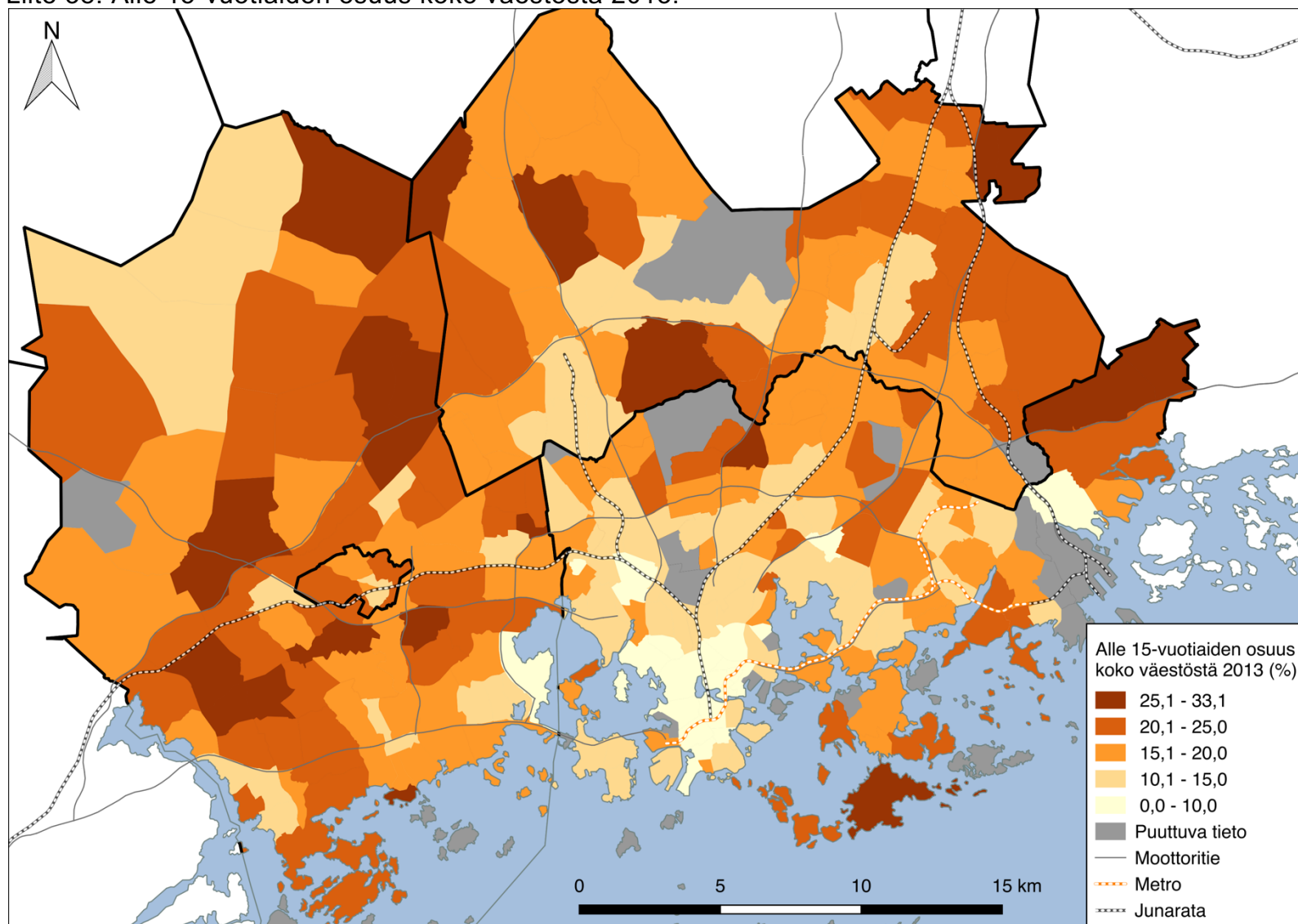
Liite 36. Pientalojen osuus asuinkerrosalasta 2013.



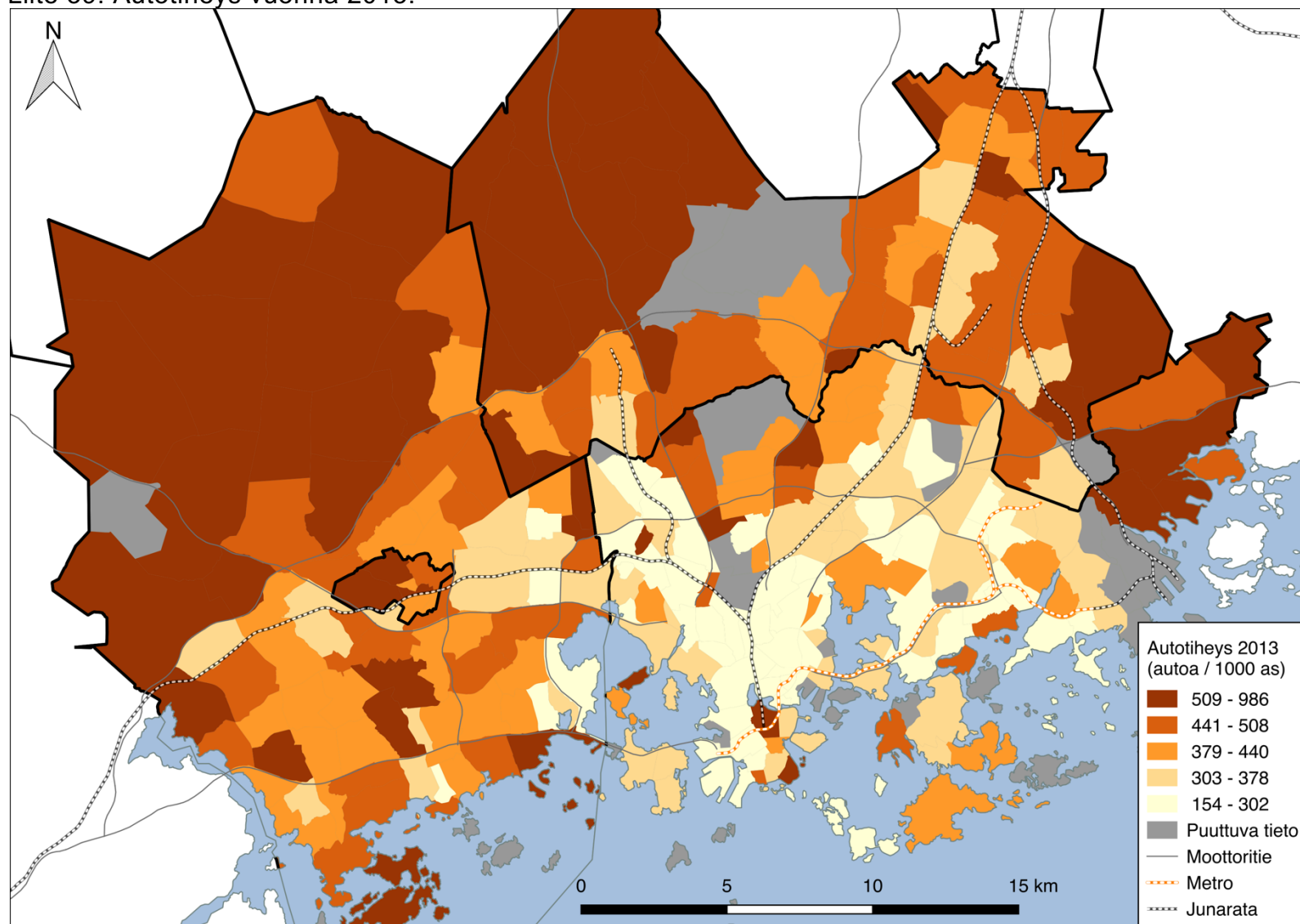
Liite 37. Kerrostalojen osuus asuinkerrosalasta 2013.



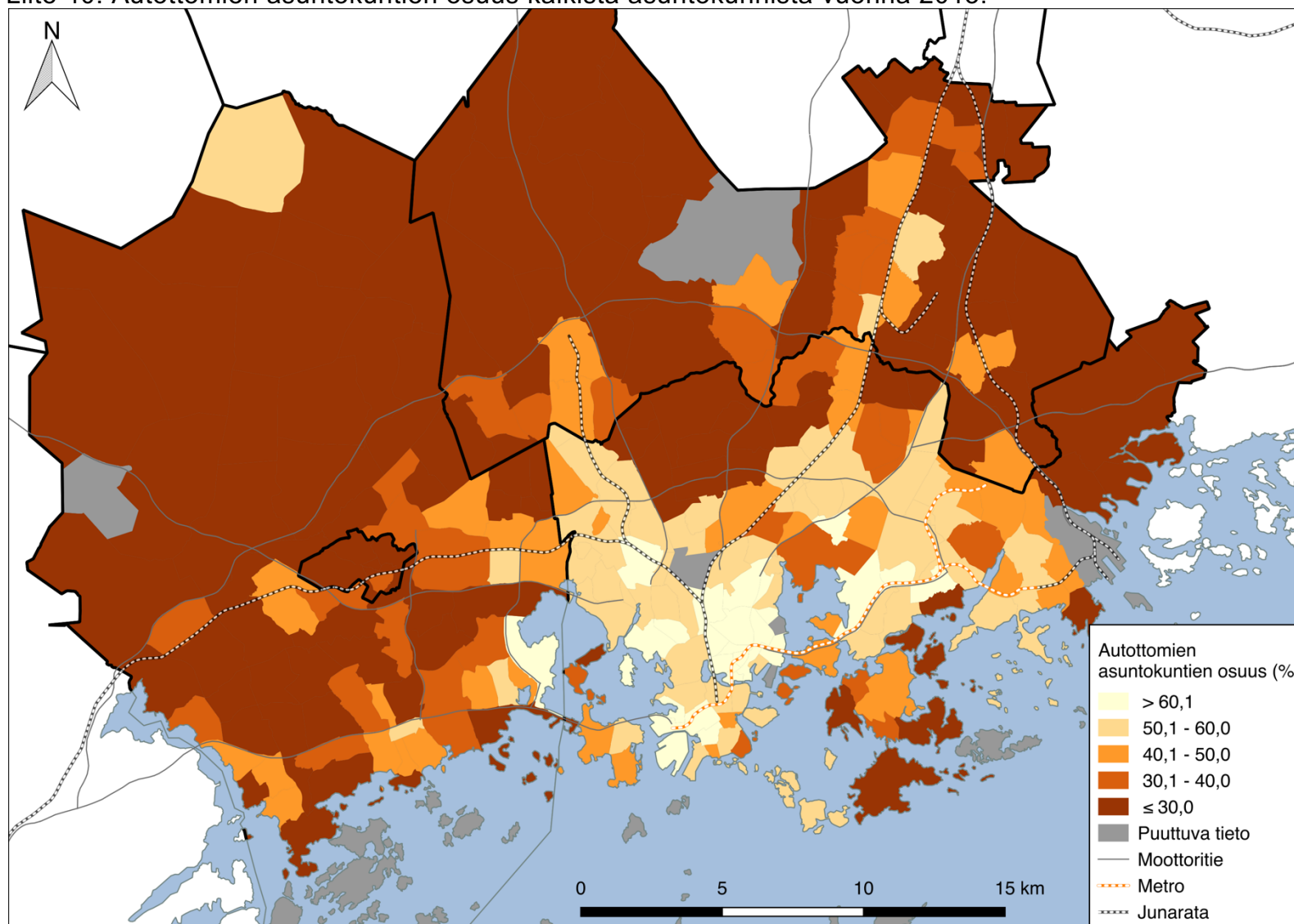
Liite 38. Alle 15-vuotiaiden osuus koko väestöstä 2013.



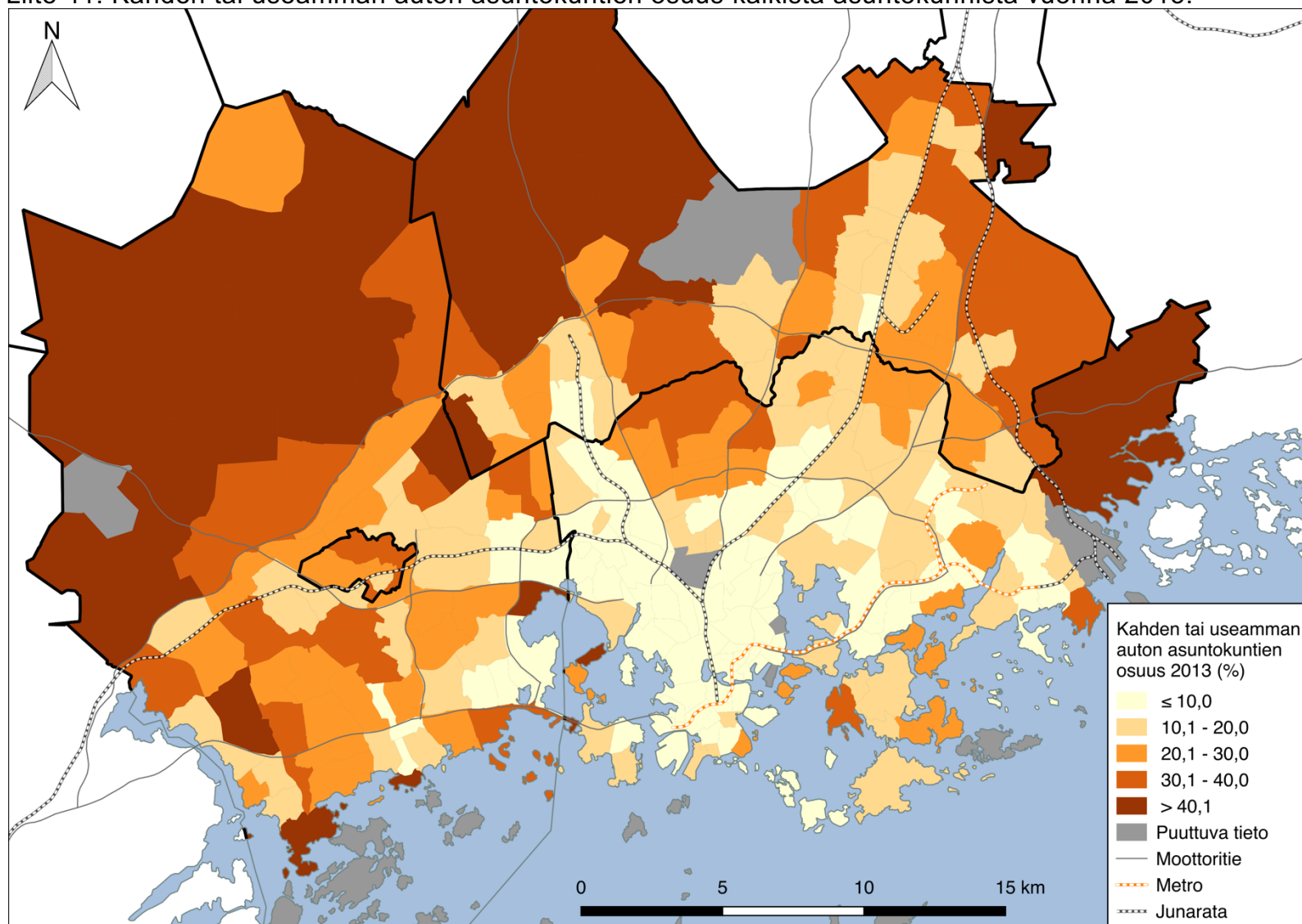
Liite 39. Autotiheys vuonna 2013.



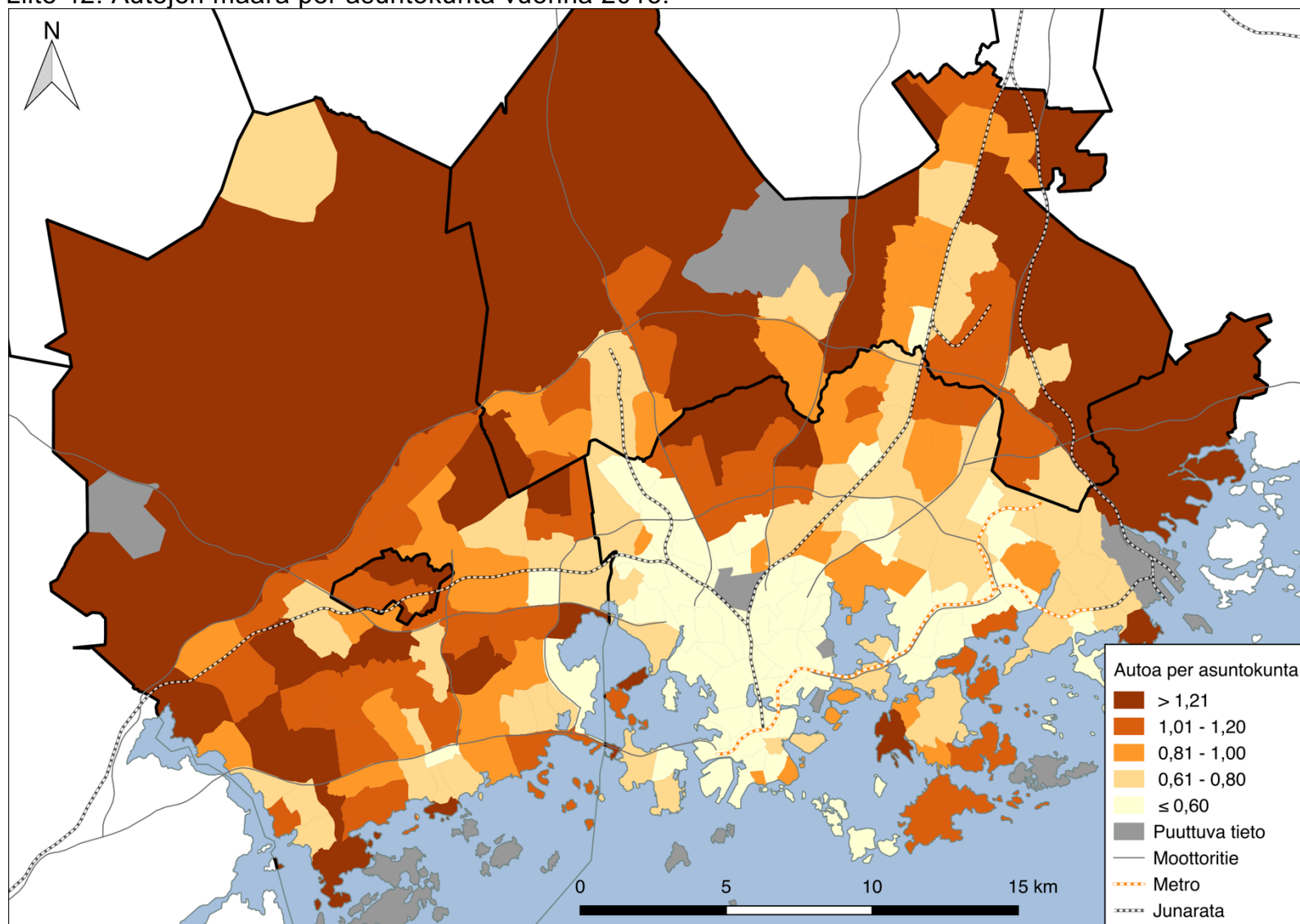
Liite 40. Autottomien asutokuntien osuus kaikista asutokunnista vuonna 2013.



Liite 41. Kahden tai useamman auton asutokuntien osuus kaikista asutokunnista vuonna 2013.



Liite 42. Autojen määrä per asuntokunta vuonna 2013.



Liite 43. Asuinkerrosala per auto vuonna 2013.

